

**OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE LA MANO DE OBRA DE  
PRODUCCIÓN: OBRAS DE EXTENSIÓN DE LA LÍNEA 14 DEL  
METRO DE PARÍS ESTACIÓN CLICHY SAINT-OUEN**

**MARIA CLARA MORENO SERNA**

**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil**

**GILDAS PIGUELLER**

**Director de producción proyecto de extensión de la línea 14**

**CAROLINE JASSERON**

**Gerente de proyecto sector Créteil-St Maur - Sociedad del Gran  
Paris**



**UNIVERSIDAD EIA  
ÉCOLE DES INGÉNIEURS DE LA VILLE DE PARIS**

**INGENIERÍA CIVIL  
ENVIGADO  
2017**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

## **AGRADECIMIENTOS**

A las empresas VINCI CONSTRUCTION y SPIE BATIGNOLLES por permitirme desarrollar este proyecto en una obra tan importante como la extensión de la línea 14 del metro. A Gildas Pigueller, director de producción de la obra, por su disponibilidad y acompañamiento durante el desarrollo de este trabajo.

Al ingeniero Fabien GUYON por su confianza y apoyo y a todas las personas que participaron directa o indirectamente en el desarrollo del proyecto, especialmente a Thierry CASAS, Sébastien TOURE y Stéphane MARIE, por su acogida, su paciencia y sus enseñanzas.

A Caroline Jasseron por haberme asesorado y a todos los profesores de la EIA y la EIVP por haber contribuido a mi formación como ingeniera.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

# CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	10
1. PRELIMINARES.....	11
1.1 CONTEXTO Y CARACTERIZACION DEL PROBLEMA .....	11
1.2 Objetivos del proyecto .....	12
1.2.1 Objetivo General.....	12
1.2.2 Objetivos Específicos .....	12
1.3 Marco de referencia.....	13
1.3.1 Proyecto del Gran Paris.....	13
1.3.2 Proyecto de extensión de la línea 14 del metro de París .....	13
1.3.3 La estación Clichy Saint-Ouen.....	13
1.3.4 Horas-hombre trabajadas .....	14
1.3.5 Gestión del Valor Ganado o Earned Value Managament (EVM).....	15
1.3.6 Variaciones.....	16
1.3.7 Pronósticos.....	16
La siguiente figura representa gráficamente las diferentes variables de la técnica de gestión del valor ganado.....	16
2. ENFOQUE Y METODOLOGÍA .....	17
3. PRODUCTOS, RESULTADOS Y ENTREGABLES OBTENIDOS.....	20
3.1 PROCESO de seguimiento de la mano de obra de produccion .....	22
3.2 HERRAMIENTAs DE CONTROL Y MONITOREO DE LAS HORAS TRABAJADAS	24
3.2.1 Presupuesto de mano de obra.....	24
3.2.2 Valor ganado: porcentaje de avance de la obra.....	26

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

3.2.3	Determinación de las horas consumidas .....	27
3.2.4	Tablero de seguimiento .....	28
3.2.5	Variaciones y pronósticos .....	30
3.3	Análisis de las causas de las variaciones .....	33
3.3.1	Errores en la estimación del presupuesto .....	34
3.3.2	Trabajo realizado por los subcontratistas .....	34
3.3.3	Trabajos adicionales .....	34
3.3.4	Trabajos no presupuestados .....	34
3.3.5	Evolución de las variaciones .....	35
3.4	aplicación DEI SISTEMA DE CONTROL PRESUPUESTARIO A LA REALIZACION DE MUROS A UNA CARA DE LOS ACCESOS DE LA ESTACION .....	37
3.4.1	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVOS DE MUROS PERIFERICOS .....	37
3.4.2	ANÁLISIS DE DESVIACIONES Y RENDIMIENTOS DE EJECUCIÓN .....	39
3.4.3	SOLUCIONES PROPUESTAS .....	42
4.	DISCUSION DE RESULTADOS .....	47
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	48
	REFERENCIAS .....	49

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Productos esperados e indicadores de cumplimiento.....	20
Tabla 2. Ejemplo de cálculo del porcentaje de avance para el montaje y desmontaje de puntales.....	27
Tabla 3. Calculo de las variaciones presentes - código C3: Puntales acceso principal ....	31
Tabla 4. Calculo de variaciones a la terminación código C31 .....	31
Tabla 5. Calculo de variaciones a la terminación corregidas – Código C31 .....	32
Tabla 6. Análisis de las causas de principales variaciones .....	33
Tabla 7. Pronóstico a la terminación de los muros de la sala de recepción con base en el rendimiento de los muros de la sala de conexión RER C.....	41
Tabla 8. Repartición de las horas trabajadas para la construcción de muros.....	41
Tabla 9. Comparación de los rendimientos de ejecución encofrados simples y encofrados de gran altura .....	45
Tabla 10. Pronóstico a la terminación de los muros de la sala de recepción con base en el rendimiento optimizado con encofrados de gran altura. ....	46

# LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Principales obras del proyecto Estación Clichy Saint Ouen .....	14
Figura 2. Representación gráfica de las principales variables de la gestión del valor ganado (EVM) (AMBRIZ AVELAR, 2008).....	16
Figura 3. Tipos de análisis de variaciones realizados .....	18
Figura 4. Proceso y actores del control presupuestario de la mano de obra .....	22
Figura 5. Proceso de gestión de la mano de obra de producción.....	24
Figura 6. Fragmento del presupuesto de mano de obra.....	25
Figura 7. Base de datos trabajos realizados .....	28
Figura 8. Componentes del tablero de seguimiento .....	29
Figura 9. Puntales del acceso principal.....	30
Figura 10. Pareto de causas de las variaciones.....	35
Figura 11. Evolución del valor ganado y las horas trabajadas. Comparación con el presupuesto B2-bis.....	36
Figura 12. Evolución de las variaciones para las estructuras CSO, BAM, Túnel RERC ...	36
Figura 13. Evolución de las variaciones para los Accesos Principal, Secundario y Sanzillon .....	37
Figura 14. Sistema de impermeabilización con geo membrana PVC.....	38
Figura 15. Construcción de muro a una cara contra pantalla de impermeabilización .....	38
Figura 16. Cimbras para la construcción de segundo nivel de muros .....	39
Figura 17. Presupuesto de horas-hombre para la realización de muros del acceso principal a la estación Clichy Saint-Ouen.....	40
Figura 18. Juntas de hormigonado con rejilla stremaform.....	42
Figura 19. Configuración constructiva de muros en varios niveles y muros de gran altura	44

## **LISTA DE ANEXOS**

ANEXO 1. METODOLOGÍA DE SEGUIMIENTO DE LA MANO OBRA

ANEXO 2. PRESUPUESTO DE MANO DE OBRA B2-BIS

ANEXO 3. DIARIO DE OBRA

ANEXO 4. TABLA DE CODIFICACIÓN

ANEXO 5. TABLERO DE SEGUIMIENTO

ANEXO 6. EJEMPLO INFORME MENSUAL DE MANO DE OBRA

# RESUMEN

En el presente trabajo se propone un sistema de gestión de la mano de obra de producción para el control presupuestario de la estación Clichy Saint-Ouen. Esta estación hace parte del proyecto de extensión de la línea 14 y es construida por un conjunto de seis empresas pertenecientes a los grupos VINCI CONSTRUCTION y SPIE BATIGNOLLES.

Pese a la importancia de la gestión de los recursos de mano de obra, las obras de la estación Clichy Saint-Ouen no cuentan con un sistema de monitoreo de las horas trabajadas, lo cual impide tener una visión del futuro del proyecto en términos de respeto del presupuesto y del plazo.

A partir del diagnóstico e identificación de las herramientas con las que cuenta actualmente la empresa para controlar las horas consumidas, se estableció una metodología de control que integrara los elementos básicos de control presupuestario.

Se procedió entonces a implementar dicho procedimiento para realizar una comparación entre las horas consumidas y las horas presupuestadas. Con base en esto se identificaron las tareas que presentaban pérdidas significativas y se analizaron las causas, identificando las mejoras que deben aplicarse en cada caso.

Se aplicó el proceso de control definido a una de las tareas críticas de los acceso principal y secundario de la estación: la realización de muros. Con ayuda de las herramientas de control creadas, se compararon los rendimientos de ejecución antes y después de la aplicación de ciertas soluciones técnicas.

Al aplicar el control presupuestario, se pueden evidenciar múltiples beneficios para el proyecto. La constitución de las herramientas de gestión, antes inexistentes, permite una mayor facilidad en la identificación de tareas que exceden el presupuesto, la identificación de las causas que explican las variaciones y la proposición de acciones correctivas adecuadas. Además, un seguimiento de las horas trabajadas permite una mayor fidelidad en el cálculo de rendimientos y una mejor visión a medio y largo plazo. Así, la aplicación del control presupuestario en el proyecto favorecerá la construcción del nuevo presupuesto B3, sobre bases sólidas y confiables.

Palabras clave: control presupuestario, gestión del valor ganado, variaciones, pronóstico a la terminación, rendimientos



# ABSTRACT

This paper presents a system of production labour management in order to manage costs and time effectively at the Clichy Saint-Ouen station. This station is part of the extension project of the subway 14 in Paris. The construction is made by a group of six companies belonging to VINCI CONSTRUCTION and SPIE BATIGNOLLES.

Despite of the labor resources management importance, the construction of the station Clichy Saint Ouen doesn't have a budgetary control which allows to have a long-term vision of the project to maintain the cost and the deadlines.

A control method has been developed to integrate basics elements of budget control. It is based on diagnostics and identified tools currently available in the companies to manage working hours.

This method has been used to compare the hours really worked and the budgeted, planified hours. The tasks that have significant losses have been identified and analyzed to propose new methods and techniques to optimize the tasks.

This control method will be implemented on one of the critic tasks of the station: walls realization. The results before and after the implementation of new construction methods have been studied to quantify the benefits.

In applying budget control, many benefits can be identified for the project. New methods and new tools which have been developed permit to identify tasks where the budget is exceeded. This tasks are analyzed to understand causes which permit to propose other construction methods. Moreover, worked hours monitoring lets to have better calculus of variances and have a long-term vision. Budget control of this project will be use to determine the new budget B3 which will be more reliable.

Key word: budgetary control, Earned Value Management, variance, estimate at completion, yields

## INTRODUCCIÓN

La estación Clichy Saint-Ouen, una de las cuatro estaciones del proyecto de extensión de la línea 14 hasta Marie de Saint Ouen, permitirá comunicar el distrito de negocios Saint-Ouen, el barrio Docks y este de Clichy-la-Garenne, con el centro de París. El costo de la obra ha sido estimado en 60 millones de euros, dentro de los cuales el 18% corresponde a los costos de mano de obra.

A pesar de la importancia de la gestión de los recursos disponibles, el proyecto no cuenta con un sistema de control presupuestario. Esto dificulta la identificación de los trabajos en los cuales se generan pérdidas y la implementación de medidas correctivas para limitar estas últimas.

El objetivo de este trabajo es establecer un sistema control del presupuesto de horas previstas para la realización del proyecto, mediante el seguimiento del progreso de la obra y de las horas trabajadas.

Con base en un diagnóstico de la situación actual del proyecto, se estableció un sistema de seguimiento de la mano de obra, que fue presentado a las empresas en abril de 2017, fecha a partir de la cual comenzó a implementarse. Este trabajo presenta los principales elementos de dicho proceso de seguimiento, las herramientas creadas para efectuar un control fiable y los principales análisis obtenidos mediante su aplicación. Finalmente, se presenta un estudio de caso en los accesos de la estación en el cual se aplica toda la base teórica del control presupuestario. Además, se utiliza este último como base para proponer soluciones que permitan comparar y mejorar los rendimientos de ejecución.

Los diversos análisis expuestos en este trabajo dan cuenta de los beneficios de implementar un sistema de monitoreo de mano de obra. El control presupuestario se muestra eficaz para identificar tareas sin valor agregado que generan pérdidas y se constituye como una base sólida para la selección de los procesos constructivos apropiados que permitan optimizar los recursos.

# **1. PRELIMINARES**

## **1.1 CONTEXTO Y CARACTERIZACION DEL PROBLEMA**

El cumplimiento de los objetivos y el respeto del plazo y presupuesto de un proyecto, dependen de la correcta administración de los recursos financieros, administrativos, tecnológicos, humanos y materiales disponibles. Los recursos de un proyecto se refieren a los medios necesarios para su adecuada ejecución. Para garantizar el éxito de un proyecto, el establecimiento de un plan adecuado de gestión de recursos es necesario. Éste consiste en la correcta planificación e identificación de los recursos requeridos, la correcta asignación de los mismos y por último el control de los recursos utilizados.

Un control adecuado permite reducir al máximo las diferencias entre lo planificado y lo ejecutado, mediante la identificación, el análisis y la proposición de mejoras para aumentar el rendimiento de las operaciones y optimizar los recursos utilizados en la ejecución.

El presupuesto de mano de obra de la estación Clichy Saint-Ouen representa un 18% del presupuesto total del proyecto, un porcentaje significativo que da cuenta de la importancia de realizar un seguimiento del consumo de los recursos disponibles. Pese a esto, el grupo de empresas que realiza el proyecto no lleva a cabo este tipo de seguimiento y como consecuencia de esto, no cuenta con herramientas de análisis y de apoyo a la decisión. Esto impide la implementación de acciones correctivas, trayendo como consecuencia un desconocimiento del futuro del proyecto.

Teniendo consciencia de las consecuencias de una inadecuada gestión de la mano de obra, se pretende crear un sistema de control presupuestario que permita identificar las tareas que presentan derivas entre la planificación inicial y la ejecución real. Este sistema busca identificar las causas de las variaciones, monitorear el desempeño y los rendimientos y propiciar la elección de los procesos constructivos optimizados.

### **1.1.2 Formulación del problema**

¿Cómo desarrollar un sistema de seguimiento y control de la mano de obra de producción de la estación Clichy Saint-Ouen, que permita el respeto del presupuesto y el plazo de la obra?

## **1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **1.2.1 Objetivo General**

Desarrollar un sistema de monitoreo y control presupuestario de la mano de obra de producción en la estación Clichy Saint-Ouen

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Diagnosticar la situación actual del proyecto en cuanto a la gestión de la mano de obra y proponer una metodología de seguimiento de las horas trabajadas
- Identificar las actividades cuyo consumo de horas exceda el presupuesto inicialmente previsto
- Analizar las causas de las variaciones entre las horas trabajadas y las horas presupuestadas para realizar pronósticos de consumo de horas
- Aplicar el sistema desarrollado a los trabajos de los accesos principal y secundario de la estación Clichy Saint-Ouen, para comparar los rendimientos de ejecución y proponer acciones concretas de mejoramiento.

## **1.3 MARCO DE REFERENCIA**

### **1.3.1 Proyecto del Gran París**

El Gran París es un proyecto que busca transformar el área metropolitana de París en una gran metrópoli mundial, con el fin de mejorar el entorno de vida de los habitantes, corregir las desigualdades territoriales y construir una ciudad sostenible. Este proyecto consiste en la creación de un nuevo metro automático en los suburbios de París: el “Gran Paris Express”. El proyecto, con 200 km de vías férreas y 75 estaciones, tendrá un costo de aproximadamente 32 500 millones de euros (SOCIETE DU GRAND PARIS, 2017).

El proyecto consiste en la extensión de ciertas líneas existentes como la 11 y la 14, y la creación de cuatro nuevas líneas de metro (15, 16, 17, 18) que se conectarán con la red de transporte actual. El nuevo metro permitirá conectar los territorios del área metropolitana de París. Así, se podrá llegar de un punto a otro de Ile-de-France sin pasar por París e igualmente será posible llegar más rápido al centro de París desde la periferia. El objetivo principal de este proyecto de transporte público es el de constituirse como una nueva alternativa al automóvil, para reducir la contaminación y ayudar a crear una metrópolis más respetuosa con el medio ambiente (SOCIETE DU GRAND PARIS, 2017)

### **1.3.2 Proyecto de extensión de la línea 14 del metro de París**

Dentro del marco del proyecto del Gran París, la extensión de la línea 14 tiene como principal objetivo descongestionar la línea 13 del metro, cuyas condiciones de servicio se ven deterioradas a causa de una gran afluencia de usuarios.

La línea 14 permite la conexión entre el centro de París y el centro de negocios de Saint Denis Pleyel al norte y el aeropuerto de Orly al sur. La capacidad actual de la línea es de 30,000 pasajeros por hora. El objetivo final es aumentar dicha capacidad a 40.000 pasajeros por hora, con vehículos de 8 vagones en lugar de 6, sin que esto afecte el alto rendimiento actual de la línea (velocidad de 45 km/h versus 25 km / h de un tren clásico). Con estos cambios, se estima que la línea 14 podría reducir en una cuarta parte el número de usuarios actuales de la línea 13.

El proyecto consiste en la creación de 5,8 km de túnel y 4 nuevas estaciones: Pont Cardinet, Porte de Clichy, Clichy Saint-Ouen, Marie de Saint Ouen. El costo total del proyecto se estima en 1.38 billones de euros.

### **1.3.3 La estación Clichy Saint-Ouen**

El contrato para la construcción de la estación, firmado el 27 de noviembre de 2014, contempla la realización de seis obras, así:

**El cuerpo de la estación de metro Clichy Saint Ouen (CSO):** una estructura en muros pantalla, de aproximadamente 160 m de largo x 15,7 m de ancho y 18,3 m de profundidad.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

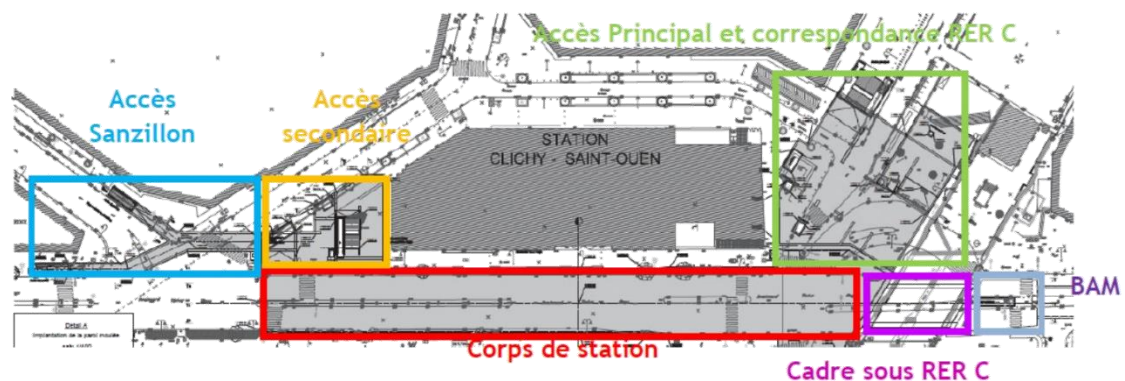
**El acceso principal:** una estructura constituida por pantallas de impermeabilización bentonita-cemento en fase provisoria y muros de hormigón armado en fase definitiva. Permite el acceso a la estación y la conexión con el RER C

**El acceso secundario:** se trata de una estructura de hormigón armado de dimensiones 26 x 33 x 10 m. Las pantallas de bentonita-cemento, garantizan la impermeabilización de la estructura en fase provisoria.

**El acceso Sanzillon:** conecta la vía pública con el acceso secundario, situado a 10 metros de profundidad.

**Una cámara de ventilación mecanizada (BAM):** utilizada durante la fase de construcción para permitir la salida de la tuneladora, está constituida por un muro de pantalla de dimensiones 25x15x 23 m.

**Túnel bajo el RER C:** permite la conexión entre la estación CSO y la BAM. La estructura sostiene la estructura de la línea de tren RERC.



**Figura 1. Principales obras del proyecto Estación Clichy Saint Ouen**

### 1.3.4 Horas-hombre trabajadas

Es el número total de horas trabajadas por todos los miembros de un equipo para la realización de una tarea o labor. Se calcula como el producto entre la duración del trabajo realizado y el número de empleados lo ejecutaron (8 horas de encofrado de una losa realizado por un equipo de 3 personas corresponden a 24 horas-hombre).

En el caso concreto de este trabajo, los costos de mano de obra con evaluados en términos de horas-hombre. Por facilidad, se utilizaba el término horas para referirse a las horas-hombre trabajadas.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

### 1.3.5 Gestión del Valor Ganado o Earned Value Managment (EVM)

También conocida por su nombre en inglés Earned Value Management, es una técnica que permite medir el rendimiento y el avance real del proyecto mediante una comparación de costos (Silvela, 2016).

Este método mide el progreso de ejecución del proyecto mediante la comparación de tres aspectos: el presupuesto inicial del proyecto, el valor ganado o grado de terminación de las actividades del proyecto y el costo real de los trabajos ejecutados.

Gracias a esta técnica es posible determinar el desempeño del proyecto en términos de costo y gasto, es decir, si los costos reales de ejecución son inferiores o superiores al presupuesto de obra y si el proyecto se adelanta o se atrasa con respecto al cronograma inicial. Los elementos básicos de esta técnica son el valor planificado, el valor ganado y el costo real.

- **Valor planificado o presupuesto (VP)**

El presupuesto es la base de referencia financiera del proyecto, éste determina los recursos de trabajo necesarios para realizar la obra. La determinación de un presupuesto es esencial para obtener información fiable en términos de control y para identificar derivas en el costo y plazo. El presupuesto es una estimación asociada a un cronograma de las horas que serán consumidas a lo largo de todo el proyecto, lo que permitirá una comparación con la ejecución real de este último.

Para el establecimiento de un presupuesto, se debe establecer un EDT (Estructura de Descomposición del Trabajo) que permite identificar las diferentes labores o “paquetes de trabajo” que deben realizarse para terminar la obra. (Project Management Institut, 2006)

La Estructura de Descomposición del Trabajo (EDT) o WBS (Work Breaking Structure en inglés) es una herramienta fundamental en la gestión de proyectos que permite una subdivisión del trabajo a ejecutar en componentes individuales, organizados de manera jerárquica. Esta herramienta permite la división del proyecto en partes más pequeñas o “paquetes de trabajo” cuyo manejo, monitoreo y control es más sencillo, lo cual facilita el cumplimiento de los objetivos del proyecto (Project Management Institut, 2006).

- **Valor ganado (EV)**

El valor ganado de un trabajo corresponde al porcentaje de avance multiplicado por el presupuesto inicialmente planificado para la realización de la tarea.

- **Costo real (AC)**

El gasto real es la suma durante toda la duración del proyecto de las horas realmente incurridas para la ejecución de las diversas tareas. Los datos se recopilan a través del informe diario, rellenado por el líder del equipo según las tareas que se realizan a diario.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

### 1.3.6 Variaciones

Se refieren a las diferencias existentes entre lo planificado y lo ejecutado.

Existen dos tipos de variaciones, las variaciones de la programación (SV) calculadas como la diferencia entre el valor ganado y el valor planificado ( $SV = EV - PV$ ) y las variaciones de costo (CV) que corresponden a la diferencia entre el valor ganado y el costo real (horas realmente trabajadas)  $CV = EV - AC$ .

### 1.3.7 Pronósticos

Cuando un proyecto no avanza según lo planificado, puede generarse un sobrecosto. Los pronósticos se refieren a la estimación del costo final del proyecto que puede no ser el mismo que el presupuesto.

- Estimado a la terminación (EAC)

Es el pronóstico del costo final del proyecto calculado como el costo real más un estimado del trabajo remanente conocido como estimado hasta la terminación (ETC).

La siguiente figura representa gráficamente las diferentes variables de la técnica de gestión del valor ganado

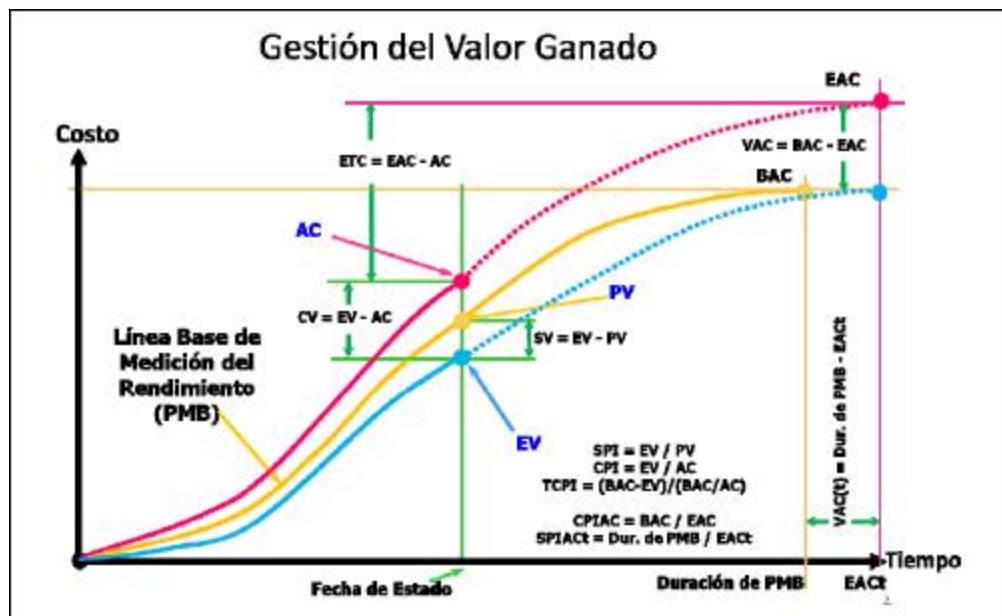


Figura 2. Representación gráfica de las principales variables de la gestión del valor ganado (EVM) (AMBRIZ AVELAR, 2008)

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



## 2. ENFOQUE Y METODOLOGÍA

Para desarrollar el sistema gestión de la mano de obra para fue necesario realizar un estudio profundo del presupuesto inicial de la obra, de los trabajos en curso de ejecución y de las herramientas de gestión con las que contaba la obra.

El plan de trabajo desarrollado para alcanzar cada uno de los objetivos específicos planteados fue el siguiente:

- **Etapas 1. Diagnóstico de la situación actual del proyecto en cuanto a la gestión de la mano de obra y creación de metodología de control presupuestario**

Se estudió el presupuesto inicial de la obra y la manera como éste fue obtenido. Se identificaron las acciones que lleva a cabo la empresa para realizar un seguimiento de las horas trabajadas.

Se identificaron los elementos esenciales requeridos para llevar a cabo un control presupuestario, mediante la revisión de la bibliografía existente: planificación inicial, valor ganado y costo real. Con base dichos elementos se determinaron los pasos básicos necesarios para desarrollar un sistema de control.

A partir de los elementos anteriores se hizo una descripción detallada del proceso y del rol de cada persona en el sistema de gestión. Este procedimiento fue mostrado a los ingenieros de las empresas y el procedimiento de control comenzó a ser aplicado.

- **Etapas 2: Identificación de los trabajos cuyo consumo en horas excede el presupuesto inicialmente previsto**

Para el desarrollo de esta etapa se revisó información primaria del proyecto con el fin de conocer el presupuesto inicial, las cantidades de obra y las horas previstas para la ejecución de la obra.

Para identificar las tareas en las cuales se consumieron más horas que las inicialmente previstas, se compararon las horas trabajadas con el valor ganado. La metodología de obtención de dichas variables es descrita a continuación:

- Obtención del gasto

Se modificó el formato de diario de obra, por un formato en el cual fuera posible identificar cuantas horas fueron consumidas para la ejecución de cada tarea, mediante un sistema de códigos.

- Obtención de los avances de obra

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

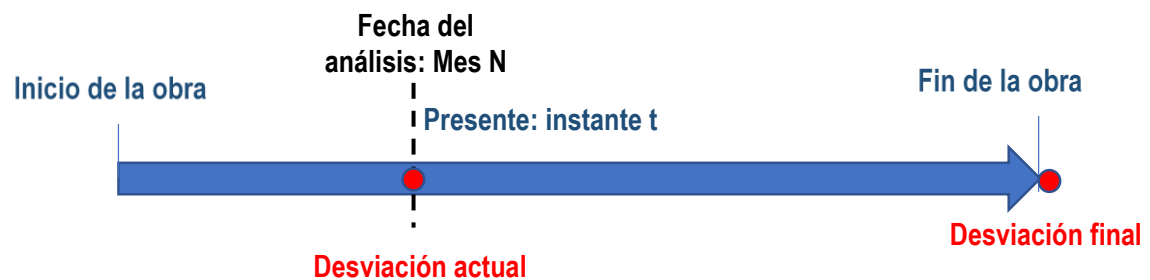
Se calculó el porcentaje de avance de cada tarea, mediante la proporción entre las cantidades realizadas y las cantidades teóricas totales. Estos avances se calcularon mes tras mes, durante los seis meses del análisis, para cada una de las 132 tareas en curso de ejecución.

### El tablero de seguimiento

Se creó una herramienta capaz de compilar toda la información obtenida: el tablero de seguimiento. Gracias a éste, fue posible conocer el total de horas consumidas y compararlas con el valor ganado.

El análisis se centra en la evolución de estos dos factores: el valor ganado según el presupuesto B2-bis y el gasto real. Este análisis se realizó durante un periodo de 6 meses, entre febrero y julio de 2017, con el fin de obtener rendimientos confiables y representativos de cada tarea.

Se pueden realizar dos tipos de análisis, explicados en la siguiente figura:



**Figura 3. Tipos de análisis de variaciones realizados**

1. Un análisis instantáneo, en el cual se comparan las horas consumidas en un instante  $t$  del proyecto con las horas ganadas en función de un avance de obra calculado en el mismo instante  $t$ .

El cálculo de las variaciones nos permite saber si para realizar el trabajo, se consumieron más o menos horas de las inicialmente presupuestadas. Las diferencias se calculan de la siguiente manera:

$$\text{Variación (horas – hombre)} = HH \text{ ganadas} - HH \text{ consumidas}$$

Si la variación es mayor que cero, las horas consumidas son inferiores a las presupuestadas.

Si la variación es menor que cero, las horas consumidas exceden las horas presupuestadas

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

2. Un análisis al final del proyecto, donde se realiza un pronóstico de las horas que serán consumidas al final de la obra. El análisis se realiza a un instante  $t$  cualquiera del desarrollo de la obra, con base en los rendimientos de ejecución calculados en dicho momento. Se realiza una estimación de las horas necesarias para realizar los trabajos remanentes, suponiendo que se conservaran los mismos rendimientos calculados en el instante  $t$  del análisis. Esta estimación es comparada con el presupuesto inicialmente establecido, para conocer la variación a la terminación.

- **Etap 3: Análisis de las causas de las variaciones entre el presupuesto inicial y las horas reales trabajadas**

Para analizar las causas de las desviaciones entre lo presupuestado y lo ejecutado, se seleccionaron las tareas cuya pérdida excediera 200 horas, lo cual equivale aproximadamente al trabajo de una persona durante un periodo de un mes y medio. Durante las reuniones de producción, realizadas una vez por semana, se instauró un momento durante el cual se exponían las tareas que presentaban derivas y se favorecía el intercambio con los ingenieros para conocer las causas.

Se realizó este proceso actividad por actividad, se identificaron las principales causas que explican las variaciones y se realizó un diagrama de Pareto para identificar la causa que explicaba un mayor número de horas perdidas.

- **Etap 4: Aplicación del sistema desarrollado a los trabajos de los accesos principal y secundario de la estación Clichy Saint-Ouen, para comparar los rendimientos de ejecución y proponer acciones concretas de mejoramiento.**

Se realizó un seguimiento de la realización de los muros periféricos durante 6 meses. Se dividió cada trabajo en subtareas y se calculó el rendimiento real para cada una de estas, con ayuda del tablero de seguimiento. Se compararon dichos valores con los rendimientos teóricos estimados en el presupuesto de noviembre de 2017 y se identificaron las tareas críticas, que presentaban mayores pérdidas.

Se propusieron soluciones para el mejoramiento del rendimiento de dichos trabajos. Se implementaron estas últimas en la obra y se midieron los nuevos rendimientos.

Se realizó una comparación de los rendimientos anteriores con los rendimientos optimizados.

### 3. PRODUCTOS, RESULTADOS Y ENTREGABLES OBTENIDOS

**Tabla 1. Productos esperados e indicadores de cumplimiento**

PRODUCTO ESPERADO	INDICADOR DE CUMPLIMIENTO	OBSERVACIONES	ENTREGABLE
Definición del proceso y los actores del control presupuestario de la mano de obra	Presentación de la metodología de control de la mano de obra a los miembros de las empresas el 4 de abril de 2017.	Con base en un diagnóstico de la situación actual de la empresa, se identificaron las principales falencias del control presupuestario actual y se logró determinar un procedimiento adaptado a las necesidades de la obra.	Manual metodológico de seguimiento de la mano de obra donde se explica el proceso
Definición de las herramientas necesarias para el control de la mano de obra. Mejoramiento de las herramientas existentes	Mejora del diario de obra que permitiera una mayor claridad de las labores ejecutadas en la jornada.  Mejoras en la manera de calcular el progreso de la obra. Realización de metrados de ejecución	Con base en una revisión de los elementos clave del control presupuestario, se determinaron las variables clave y se crearon herramientas para la obtención de las mismas.  Se realizaron modificaciones al formato de diario de obra existente, agregando un espacio para el código presupuestario.	Manual metodológico de seguimiento de la mano de obra donde se explica el proceso y cada una de las herramientas.  Base de datos de labores realizadas  Hojas de cálculo de avances  Cuadro de progreso de la obra por código presupuestario
Establecimiento de una herramienta de seguimiento de las horas trabajadas en la obra	Creación del tablero de seguimiento de las horas trabajadas	Se creó una herramienta que compila y compara todas las variables del control presupuestario. Se realizó un seguimiento de 6 meses con ayuda de dicha herramienta.	Tablero de seguimiento completado según el desempeño de la obra cada mes
Explicación de pérdidas de horas	Identificación de 4 causas principales que explican las pérdidas.	Mediante un análisis de aquellas tareas que presentaban pérdidas	Pareto explicación de causas

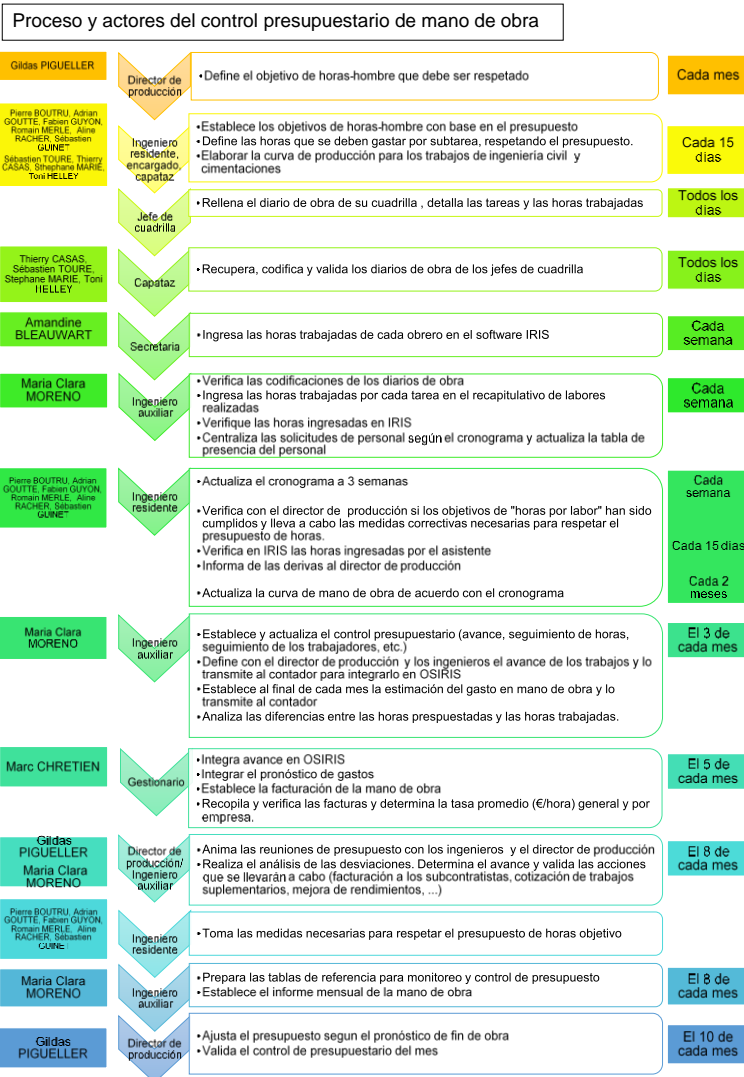
La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

		superiores a 200 horas se identificaron 4 causas principales de las variaciones: errores en la estimación del presupuesto, trabajo realizado por los subcontratistas, trabajos adicionales, trabajos no presupuestados	Cuadro de explicación de las variaciones
Establecimiento de los pronósticos de mano de obra	Ajuste de los pronósticos lineales	Se realizó un análisis de los rendimientos de ejecución y con base en lo discutido en las reuniones de presupuestos se ajustaron los pronósticos lineales a las acciones correctivas tomadas	Tablero de seguimiento con pronóstico a la terminación
Seguimiento de la evolución de las pérdidas	Obtención de los valores de pérdidas y/o ganancias, durante un periodo de 5 meses para cada parte de la estación	Se realizaron curvas que indican la evolución de las variaciones en el tiempo	Informe mensual de mano de obra con cifras clave, diagramas de evolución y cuadros de síntesis.
Mejora en el rendimiento en la ejecución de muros a una cara	<p>Disminución del 20% de tiempo de preparación de juntas de hormigonado</p> <p>Reducción de 40% en el tiempo de construcción de muros periféricos.</p> <p>Mejoras en el rendimiento de ejecución de muros a una cara de 5,62 h/m<sup>2</sup> a 3,63 h/m<sup>2</sup></p>	Con base en un análisis de las subtareas en las que se consumía el mayor número de horas se identificaron los trabajos críticos y se propusieron soluciones. Se propuso realizar los muros del acceso secundario con encofrados de gran altura en lugar de encofrados simples y esto permitió la reducción del tiempo de ejecución.	<p>Prototipo de encofrado para juntas de hormigonado</p> <p>Comparativo de rendimientos de ejecución de encofrados simples versus encofrados de gran altura</p>

### 3.1 PROCESO DE SEGUIMIENTO DE LA MANO DE OBRA DE PRODUCCION

Con base en las falencias identificadas en la fase de diagnóstico, se propuso una metodología de seguimiento de la mano de obra que permitiera una mayor vigilancia de las horas trabajadas y de los rendimientos de ejecución.

La figura a continuación, presenta el proceso de control. En ella se describe el rol que cada persona debe desempeñar para implementar un control presupuestario de la mano de obra, así como las frecuencias de realización de cada una de las misiones encomendadas.



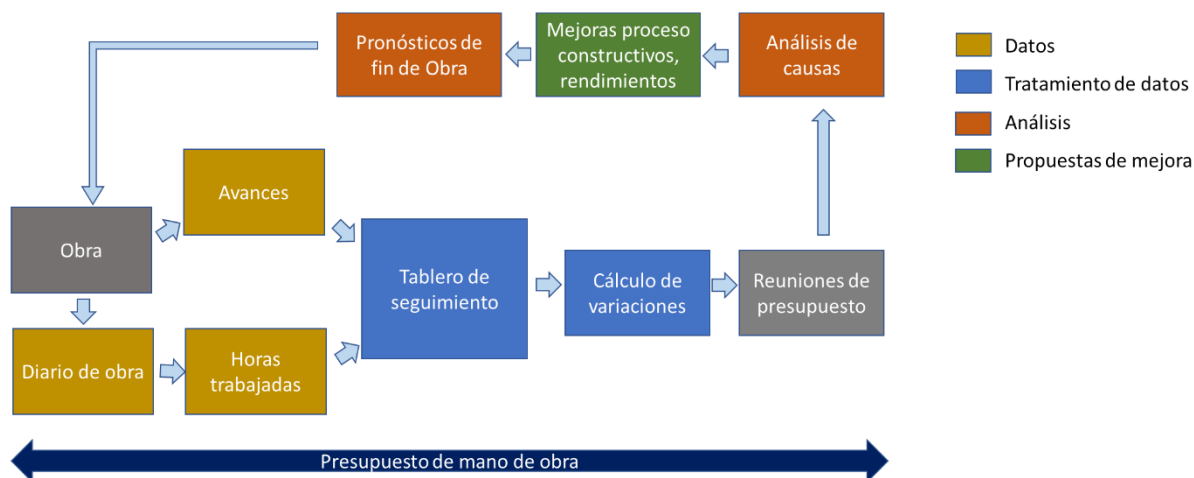
**Figura 4. Proceso y actores del control presupuestario de la mano de obra**

El proceso de control de la mano de obra, presentado en la Figura 4, puede resumirse así:

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

1. Establecimiento del presupuesto de mano de obra y los objetivos de horas que deben respetarse.
2. Elaboración del diario de obra: descripción de los trabajos realizados y las horas dedicadas para la ejecución de los mismos.
3. Verificación, codificación y validación de informes diarios: la codificación consiste en la asignación de códigos presupuestarios a cada tarea de acuerdo con la parte del proyecto a la cual corresponde y la naturaleza de los trabajos realizados (A: cuerpo de la estación CSO, B: Cámara de ventilación, C: Acceso principal, D: Acceso secundario, etc.)
4. Entrada de las labores realizadas, las horas trabajadas por cada labor, la fecha y el código presupuestal en una base de datos
5. Cálculo del porcentaje de avance de obra con base en las cantidades de obra ejecutadas versus las cantidades de obra totales.
6. Cálculo y análisis de las variaciones entre las horas trabajadas y las horas presupuestadas
7. Realización de reuniones de presupuestos para presentar los resultados obtenidos e identificar las causas de las variaciones. Esto con el objetivo de buscar soluciones y tomar medidas que permitan reducir la magnitud de las variaciones.
8. Realización de la estimación a la terminación, es decir, una estimación de las horas necesarias para terminar el proyecto con base en los rendimientos actuales y los rendimientos futuros.
9. Implementación de las propuestas de mejora en la obra y seguimientos de las mismas.

De este modo, el control presupuestario de la mano de obra es un proceso iterativo en el cual se identifican los trabajos que generan pérdidas mediante la comparación de las horas presupuestadas y las horas trabajadas, se analizan las causas de dichas pérdidas, se llevan a cabo acciones correctivas y nuevamente se compara el consumo de horas tras la implementación de las acciones para analizar si el desempeño de la tarea es satisfactorio. El ciclo es presentado en la figura a continuación:



**Figura 5. Proceso de gestión de la mano de obra de producción**

Esta metodología, así como las herramientas necesarias para su aplicación fueron presentadas a los ingenieros de la obra en un documento denominado “Metodología de control presupuestario de la mano de obra”. Este documento se presenta en el anexo 1.

La información obtenida gracias a la aplicación de dicho procedimiento permitió completar cada mes un tablero de seguimiento el cual es la clave del control del presupuesto. El tablero de seguimiento y los resultados y análisis realizados gracias a él serán presentados en los siguientes capítulos.

## 3.2 HERRAMIENTAS DE CONTROL Y MONITOREO DE LAS HORAS TRABAJADAS

A continuación, se presentan las principales acciones de mejoramiento de las herramientas ya existentes y se explica la herramienta de control creada: el tablero de seguimiento.

### 3.2.1 Presupuesto de mano de obra

El presupuesto de mano de obra del proyecto Station Clichy Saint-Ouen fue establecido el 24 de enero de 2017. Dicho presupuesto es conocido como B2-bis y prevé un total de 258 573 horas para la ejecución del proyecto.

El presupuesto B2-bis se calculó sobre la base acumulativa de las horas trabajadas a fines de noviembre de 2016. Para ello, se adicionó a las horas totales trabajadas hasta el 30 de noviembre de 2017, una estimación de las obras necesarias para terminar la obra, es decir, una estimación de las horas que serían trabajadas entre diciembre de 2016 y febrero de 2018, hito final de terminación de la obra.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



La estimación se llevó a cabo mediante la aplicación de rendimientos de ejecución observados en otros proyectos. Para el establecimiento de un presupuesto, primero se debe estableció un SDP (Estructura de corte del proyecto), es decir una división del proyecto en diferentes operaciones o “bloques de trabajo” más pequeños. En el proyecto de la línea 14, el presupuesto de mano de obra se divide en 9 operaciones: 6 obras de ingeniería civil y 3 ítems de gasto transversales para todas las obras, a su vez, cada uno de estos se divide en 30 o 40 bloques de trabajo.

1. CSO
2. BAM
3. OUVRAGE CADRE
4. ACCES PRINCIPAL
5. ACCES SECONDAIRE
6. ACCES SANZILLON
7. VOIRIE/RESEAUX/CLOTURES
8. DIVERS
9. INDIVIS

		Heures réalisées à fin novembre 2016/11	RAD	déc-16								janv-17								fev-17							
CODIFICATION																											
	S49			S50	S51	S52	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8													
		CE	Com	CE	Com	CE	Com	CE	Com	CE	Com	CE	Com	CE	Com	CE	Com	CE	Com	CE	Com	CE	Com	CE	Com	CE	Com
	INJECTIONS	0,0 h																									
A1	Travaux d'injection de comblement	2 643,8 h	0,0 h																								
			0,0 h																								
	INJECTION RADIER	0,0 h																									
A2	Injection de radier	15 626,5 h	0,0 h																								
A3	Essai de pompage (puits, piezo)	255,0 h	0,0 h																								
			0,0 h																								
	PAROI MOULEE	0,0 h																									
A10	Pose des préfondés	0,0 h	0,0 h																								
			0,0 h																								
	GENIE CIVIL	0,0 h																									
A20	Dalle sous ovoïde	978,0 h	0,0 h																								
A21	Dalle de couverture	6 763,4 h	0,0 h																								
A22	Voiles de soutènement sur dalle de couverture autour des trémiés	1 538,4 h	0,0 h																								
A23	Protection étanchéité	280,7 h	1 110,0 h																								
	Pose et dépose des boutons provisoires et liernes	777,6 h	3 330,0 h																								
A24																											
A25	Réalisation linteau RER C à 16,55	0,0 h	0,0 h																								
A26	Dalle salle d'accueil Zone 1 côté Ouest	1 750,5 h	0,0 h																								
A27	Dalle salle d'accueil Zone 4 côté Est	39,4 h	1 110,0 h																								
A28	Dalle mezzanine Zone 1 côté Ouest	447,6 h	888,0 h																								
A29	Dalle mezzanine Zone 4 côté Est	0,0 h	888,0 h																								
A30	Dalle entre mezzanine et salle d'accueil	0,0 h	0,0 h																								
A31	Buton béton rectangulaire à 19,42	149,5 h	1 998,0 h																								
A32	Liernes béton à 17,42 NGF	2 550,6 h	0,0 h																								
A33	Liernes inclinées inférieures	123,8 h	7 733,0 h																								
A34	Butons béton circulaire	202,4 h	888,0 h																								
A35	Radier de la station	0,0 h	14 245,0 h																								
A36	Voiles des quais (y cis poteaux)	0,0 h	2 886,0 h																								
A37	Dalles des quais (y cis poutre + dalle BA)	0,0 h	5 106,0 h																								

**Figura 6. Fragmento del presupuesto de mano de obra**

La figura representa gráficamente un fragmento del presupuesto (horas asociadas a un cronograma) B2-bis. A finales de noviembre de 2016 se habían consumido un total de 103 417 horas. Se estimó que para los trabajos remanentes se necesitarían 155 156 horas adicionales, entre los meses de diciembre y marzo de 2018 siendo febrero de 2018 la fecha del hito final de la obra. El presupuesto de mano de obra es presentado en el anexo 2.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

La forma como fue definido el presupuesto de mano de obra, no permite una correcta aplicación del control presupuestario. Si bien se conoce la estimación de horas futuras para cada uno de los códigos del presupuesto, este no es el caso para las horas ya consumidas. Esto impide la aplicación del control presupuestal puesto que el cálculo de las variaciones se basa en las horas totales previstas por tarea para la duración total de la obra.

Así, fue necesario recuperar los diarios de obra desde el comienzo de la misma (diciembre de 2016) para determinar el consumo de horas por código presupuestal desde diciembre de 2015 hasta noviembre de 2016.

De este modo se pudo conocer el presupuesto total por código presupuestario y no únicamente el presupuesto de lo que restaba por hacer.

### **3.2.2 Valor ganado: porcentaje de avance de la obra**

Con el fin de conocer cuantas horas son “desbloqueadas” del presupuesto ( $\text{Valor ganado} = \% \text{ avance} * \text{horas previstas}$ ), es necesario conocer el porcentaje de avance de cada operación. Este es un paso muy importante en el proceso de monitoreo y control del presupuesto, porque gracias a los avances es posible conocer el valor ganado y en consecuencia las variaciones (pérdida o ganancia). Si el progreso no se estima adecuadamente, las variaciones no reflejarán la situación real de la obra y las acciones que se tomarán para compensar las diferencias no serán apropiadas.

Pese a esto, para todos fines de control, el avance se calculaba de manera tentativa y en consecuencia había un gran riesgo de que éste no reflejara la realidad de los trabajos realizados.

Con el fin de calcular el progreso de la obra sobre bases sólidas, se recuperaron los metrados de las cantidades totales de obra por realizar y se realizaron metrados de los trabajos ejecutados. Se construyeron cuadros para cada una de las tareas, donde se entró dicha información para obtener el porcentaje de avance real de la obra. Para algunos trabajos el cálculo del avance es bastante simple ( $\text{ml (m}^2, \text{m}^3) \text{ realizados} / \text{ml (m}^2, \text{m}^3) \text{ totales}$ ), para otros, sobre todo cuando éstos son realizados en fases temporalmente espaciadas es necesario plantear ciertas hipótesis. A continuación, se presenta un ejemplo del cálculo de avances para una operación determinada:

**Tabla 2. Ejemplo de cálculo del porcentaje de avance para el montaje y desmontaje de puntales**

Tarea	Hipótesis	Ejemplo
<i>Colocación de puntales metálicos para la estabilización de las paredes de excavación</i>	<p>Tiempo de montaje = 60% de las horas totales</p> <p>Tiempo de desmontaje = 40% de las horas totales</p> <p>Es decir,</p> <p>1 puntal montado: 0.6 unidades</p> <p>1 puntal montado y desmontado: 1 unidad</p>	<p>Puntales del acceso secundario, dos niveles: +23.50 y +31.00 NGF</p> <p>21 unidades por nivel</p> <p>La totalidad de puntales fue colocada entre febrero y junio de 2017, una vez realizada la losa de cimentación, el segundo nivel de puntales fue retirado el 28 de julio de 2017</p> <p>Con estos datos se calcula el avance así:</p> <p>Primera nivel montaje: <math>21 * 0.6 = 12.6</math> unidades</p> <p>Segundo nivel montaje y desmontaje: <math>21 * 1.0 = 21</math> unidades</p> <p>Avance a fines de julio: <math>(12.6 + 21) / 42 = 0.8 = 80\%</math></p>

### 3.2.3 Determinación de las horas consumidas

#### ○ Diario de obra

Día tras día, los jefes de cuadrilla completan un formulario conocido como diario de obra (Rapport journalier en francés), en el cual se indican los trabajos realizados durante el día y las horas que cada uno de los trabajadores dedicó a su realización.

Inicialmente, los informes diarios no eran codificados, únicamente se describía la labor realizada. Dado que una buena codificación de tareas es esencial para la correcta atribución del consumo de horas, se creó una tabla de codificación de manera que los jefes de

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

cuadrilla tuvieran conocimiento de los códigos del presupuesto, que en general sólo eran conocidos por el director de proyecto y el director de producción.

Igualmente, se modificó el formato de diario de obra, se creó un espacio para completar el código presupuestario correspondiente a la labor realizada y se agregó una sección correspondiente a los subcontratistas, de manera que se pudiera tener un mayor control de las labores realizada por estos últimos.

Los diarios de obra y la tabla de codificación de trabajos se encuentran en los anexos 3 y 4 respectivamente.

### ○ Base de datos de labores realizadas

Se creó una base de datos en la cual, tras la revisión y codificación de los diarios de obra, se entraba la información correspondiente a cada labor realizada. Esta última compila todos los trabajos realizados desde el comienzo de la obra con sus respectivas fechas, código, horas trabajadas, localización, descripción de los trabajos. De este modo, fue necesario recuperar los informes desde el comienzo de la obra e incluirlos en dicha base de datos para conocer el total de horas trabajadas

Code obr	Code moi	Date	code	heures	Ouvrage	Sous ouvrage	Phase	TACHES
20175@A25	20175	02092017	I25	8.66 h	BASE VIE			Magasinier
20175@A23	20175	02092017	I23	8.16 h	INDIVIS			Chauffeur manitou
20175@A22	20175	02092017	I22	24.48 h	INDIVIS			Homme trafic
20175@A24	20175	02092017	I24	16.32 h	INDIVIS			Chief manoeuvre
20175@A31	20175	02092017	I31	8.16 h	INDIVIS			Grutier G1
20175@A32	20175	02092017	I32	8.16 h	INDIVIS			Grutier G2
20175@A20	20175	02092017	I20	8.16 h	INDIVIS			ElectricienPlomberieMécanique
20175@B26	20175	02092017	B26	34.00 h	INDIVIS			Soudeur
20175@A30	20175	02092017	I30	10.00 h	INDIVIS			Soudeur
20175@D27	20175	02092017	D27	8.00 h	INDIVIS			Soudeur
20175@A27	20175	02092017	A27	25.32 h	CSQ	Dalle Salle d'Accueil Est		Coffrage préparation dalle d'accueil [est]
20175@A25	20175	02092017	I25	24.48 h	CSQ			Divers travaux rangement triage nettoyage en surface
20175@A24	20175	02092017	A24	16.00 h	CSQ	Butons 13.30 NGF		Implantation butons 3eme lit
20175@A27	20175	02092017	I27	16.64 h	CSQ			Préparation pose portail BV Victor Hugo
20175@A27	20175	02092017	A27	12.32 h	CSQ	Dalle Salle d'Accueil Est		Plancher dalle salle d'accueil
20175@B25	20175	02092017	I25	12.16 h	CSQ			Rangement et nettoyage surface Trémie 3
20175@B26	20175	02092017	B26	24.48 h	BAM			Pose butons
20175@B26	20175	02092017	B26	16.32 h	BAM			Mise en place butons et travaux de soudure BAM
20175@A28	20175	02092017	I28	4.00 h	ACCES PRINCIPAL			Soudeur
20175@C25	20175	02092017	C25	16.32 h	ACCES PRINCIPAL			Coffrage + coulage P8 et préparation P9
20175@C25	20175	02092017	C25	6.00 h	ACCES PRINCIPAL			Décoffrage voile V13/V1
20175@C25	20175	02092017	C25	6.32 h	ACCES PRINCIPAL			Coffrage voile V13/V4
20175@A35	20175	02092017	I35	8.00 h	ACCES SECONDAIRE			Suivi terrassement

**Figura 7. Base de datos trabajos realizados**

### 3.2.4 Tablero de seguimiento

Como se explicó anteriormente, el avance de la obra y el consumo de horas son variables obtenidas directamente de la obra. El interés del control presupuestario no radica en obtener estos valores sino en su comparación, la explicación de las variaciones y el análisis de su evolución.

Con el propósito de controlar y evaluar el desempeño de la obra en cuanto al consumo de horas, se desarrolló un tablero de seguimiento que permite comparar el desempeño de los diferentes trabajos para tomar medidas correctivas.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

El tablero de seguimiento permite incluye los elementos básicos de control presupuestario y permite compilar toda la información proveniente de la obra: horas trabajadas, cantidades realizadas, porcentaje de avance, etc. El tablero de seguimiento establecido entre los meses de marzo y julio de 2017 es presentado en el anexo 5.

La figura a continuación muestra el cuerpo y los elementos principales de esta herramienta, ésta se divide en 5 bloques de información así:

		A	B	C			D			E			F			G					
Codes	Désignation	Budget	Droit à dépense à fin juillet 2017				Dépense à fin juillet				Ecart juillet/juin				Prévision reste à dépenser			Projection fin d'affaire			
			Avant période précédente	Avant période	Avant cumul	droit à dépense cumulé	Mois	cumul	cumul à fin juillet	écart cumulé juillet	Ecart	Ecart juillet/juin	Heures budgétaires restantes	Ajustement des heures à venir	Total prévision d'heures	Total budget récalc	Ecart d'heures B2-bis et budget récalc (juillet)	Ecart d'heures B2-bis et budget récalc (fin d'aff.)	Evolution entre juin et juillet		
			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		M	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	

Figura 8. Componentes del tablero de seguimiento

**A. Código y designación:** presenta el código de presupuesto y la descripción de cada tarea

**B. Presupuesto o valor planificado:** indica las horas presupuestadas para cada labor.

**C. Valor ganado:** se calcula como el producto entre el porcentaje de avance y las horas previstas para una operación determinada. Esta variable indica el número de horas que pueden ser consumidas para un porcentaje de avance determinado.

**D. Horas trabajadas acumuladas:** es el total de horas consumidas por operación y desde el comienzo de la obra.

**E. Variaciones:** esta parte muestra la diferencia entre las horas trabajadas y las horas previstas en función de un porcentaje de avance determinado.

**F. Estimado del trabajo restante:** se trata de una estimación del total de horas requeridas para completar los trabajos.

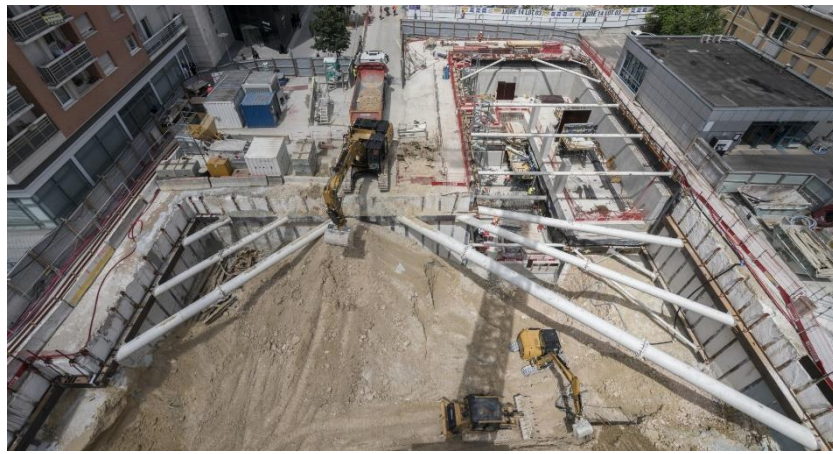
**G. Pronóstico a la terminación:** en el pronóstico se calcula el presupuesto final de la obra, es decir, las horas totales estimadas para el proyecto al final de los trabajos.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Si se analiza con detenimiento, se puede observar que esta herramienta tiene 3 partes fundamentales: el presupuesto, la información proveniente de la obra y el cálculo de las variaciones y los pronósticos, que sean objeto de un análisis profundo en los capítulos siguientes.

### 3.2.5 Variaciones y pronósticos

A continuación, se presenta con un ejemplo la forma como se calculan las variaciones. El ejemplo presentado corresponde a la colocación de puntales del acceso principal. El análisis fue realizado a fines de julio de 2017.



**Figura 9. Puntales del acceso principal**

Los resultados obtenidos para cada uno de los códigos presupuestales entre los meses de marzo y julio de 2017 son recopilados en los tableros de seguimientos, presentados en el anexo 5.

El cálculo de las variaciones permite saber si para ejecutar los trabajos se requirieron más o menos horas que las horas presupuestadas. Las diferencias se calculan de la siguiente manera:

$$\text{Variación} = \text{Valor ganado} - \text{Horas trabajadas}$$

Para la colocación de puntales del acceso principal, los resultados obtenidos son los siguientes:

**Tabla 3. Calculo de las variaciones presentes - código C3: Puntales acceso principal**

Presupuesto	% Avance	Valor ganado (h)	Horas trabajadas totales (h)	Variación
2590 h	54 %	1399	2940	-1541

Una vez las variaciones calculadas se procede a calcular el estimado del trabajo restante que consiste en la evaluación de las horas necesarias para terminar la labor.

Para esto, se calculan, en primer lugar, las horas que quedan en el presupuesto:

$$\text{Presupuesto disponible} = (1 - \% \text{ Avance}) * \text{Presupuesto inicial}$$

El presupuesto disponible es entonces

$$\text{Presupuesto disponible} = (1 - 0.54) * 2590 = 1191$$

Con base en las horas trabajadas para la realización del 54% de los trabajos, puede realizarse una estimación de las horas necesarias para un progreso del 100%, mediante una proyección lineal así:

$$\text{Pronóstico a la terminación (lineal)} = \frac{\text{Horas trabajadas}}{\% \text{ Avance}}$$

$$\text{Estimado hasta concluir} = \text{Pronóstico a la terminación (lineal)} - \text{Horas trabajadas}$$

Se obtiene entonces:

**Tabla 4. Calculo de variaciones a la terminación código C31**

Presupuesto	% Avance	Horas trabajadas totales (h)	Pronóstico a la terminación (h)	Variación a la terminación (h)	Estimado hasta concluir (h)
2590 h	54 %	2940	5444	-2854	2504

La proyección indica que para terminar los trabajos se requieren 2504 horas, no obstante, el presupuesto disponible es de 1191 horas. Dado que la operación no ha progresado según lo planificado, se requieren horas adicionales, ya que las horas que quedan en el

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



presupuesto no serán suficientes para completar la tarea, en este caso 1313 horas adicionales

De este modo, si los trabajos continúan a ejecutarse con el rendimiento actual, se espera una pérdida de 2854 horas al final de la obra, que corresponde a la variación calculada a presente más las horas adicionales del pronóstico ( $1541 + 1313 = 2854$  h)

Aplicando estas fórmulas, se asume que no se realizará ninguna mejora en el rendimiento. Sin embargo, el objetivo del control presupuestario es precisamente detectar los trabajos en los que se generan pérdidas para tomar acciones correctivas.

Las acciones correctivas permiten la mejora de los rendimientos actuales. En este caso concreto, se decidió utilizar un sistema en el cual los puntales están suspendidos los unos a los otros, de manera que el montaje y el desmontaje se realizan fácilmente.

Las 2590 horas de esta tarea fueron consumidas entre los meses de marzo y julio. Los elementos fueron montados por una cuadrilla de 4 personas: un soldador y tres personas que colocan el puntal en posición. Se espera que la tarea sea completada en el mes de diciembre de 2017. Con este sistema se estima que los equipos podrán ser constituidos de únicamente 2 personas. Esto significa una reducción de las horas trabajadas de 1000 horas aproximadamente en un periodo de 5 meses.

Esto se traduce en una reducción de la estimación y por lo tanto del pronóstico a la terminación, así:

**Tabla 5. Calculo de variaciones a la terminación corregidas – Código C31**

Presupuesto	Pronóstico a la terminación – lineal (h)	Estimado hasta concluir – lineal (h)	Pronóstico a la terminación- corregido (h)	Estimado hasta concluir – corregido (h)	Variación a la terminación- corregida (h)
2590 h	5444	2504	4430	1490	-1840

De este modo, al implementar medidas correctivas, se esperan mejoras en el rendimiento del montaje y desmontaje de los puntales. Pese a la implementación de las medidas correctivas aún se generan pérdidas puesto que en este caso concreto hubo una subestimación del presupuesto. No obstante, las acciones implementadas permite reducir la pérdida en un 35%.

Un análisis similar fue realizado para cada una de las 136 tareas, el ejemplo anterior busca ilustrar la importancia del análisis y de las consideraciones de la acción correctiva.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



### 3.3 ANALISIS DE LAS CAUSAS DE LAS VARIACIONES

Una vez identificadas las tareas que presentaban pérdidas (horas trabajadas > valor ganado) superiores a 200 horas, se procedió a realizar un análisis de las causas que explican dichas diferencias.

Dicho análisis es esencial para llevar a cabo acciones correctivas, que permitan aumentar los rendimientos y disminuir la pérdida, como se ilustró en el ejemplo del capítulo anterior. El análisis realizado es presentado en la tabla a continuación:

**Tabla 6. Análisis de las causas de principales variaciones**

(Si Δ (Pérdida) > 200 h)			
Código	Descripción	Variación acumulada	Explicación variación
<b>A01</b>	Acabados muros estación	-1 008 h	Acabados no presupuestados
<b>CSO</b>			
<b>A21</b>	Cubierta hormigón armado	-1 267 h	Acabados no presupuestados
<b>A24</b>	Montaje y desmontaje puntales	-2 246 h	Subestimación de la duración de la soldadura de los puntales
<b>A26</b>	Losa sala de recepción zona 1 - Oeste	-279 h	Presupuesto subestimado
<b>A29</b>	Losa sala mezzanine zona 4 - Este	-264 h	Presupuesto subestimado
<b>A32</b>	Vigas 17,42 NGF	-712 h	Presupuesto subestimado
<b>A33</b>	Vigas inclinadas superiores et inferiores	-1 217 h	Problema con los acopladores, sellado de aceros en la pared del diafragma / subestimación del tiempo de montaje y desmontaje de apuntalamiento / subestimación de la complejidad del montaje y desmontaje del encofrado
<b>A34</b>	Puntales hormigón	-1 183 h	Subestimación del tiempo de montaje y desmontaje de las cimbras / acabados importantes debido a la mala calidad del encofrado
<b>A35</b>	Losa de cimentación de la estación	2 807 h	Problemas con los acopladores, sellado de los aceros en la pared del diafragma / Trabajo en doble jornada para respetar el hito N°3
<b>A45</b>	auge	-607 h	Labor no presupuestada
<b>BAM</b>			
<b>B01</b>	Hormigón proyectado	-273 h	Labor no presupuestada
<b>B22</b>	Dintel RER C 16,55 NGF	-195 h	Parada laboral en la llegada del agua
<b>B26</b>	Puntales	-1 114 h	Subestimación de la duración de la soldadura de los puntales
<b>ACCESO PRINCIPAL</b>			
<b>C11</b>	Realización de la PAC	-618 h	Dificultades de excavación, terreno duro que impactó el rendimiento de la PAC
<b>C25</b>	Muros sala de conexión RER C	-700 h	Acabados necesario para realización del sistema de impermeabilización no presupuestados
<b>C31</b>	Montaje y desmontaje de punteles	-1 464 h	Subestimación del tiempo de soldadura de los puntales/ Problema de fabricación de los puntales inclinados
<b>ACCESO SECUNDARIO</b>			
<b>D3</b>	Jet grouting	-1 014 h	Labor no presupuestada
<b>D27</b>	Montaje y desmontaje de puntales	-857 h	Problemas de con actividad con los trabajos de cimentaciones/Subestimación del tiempo de soldadura de los puntales/ Problema de fabricación de los puntales inclinados
<b>ACCESO SANZILLON</b>			
<b>E3</b>	Pilas	-923 h	Labor no presupuestada
<b>VIAS/REDES</b>			
<b>G2</b>	Identificación de redes	-666 h	Presupuesto subestimado
<b>INDIVISIBLES</b>			
<b>I20</b>	Electricista / soldador / electromecánico	-2 788 h	Presupuesto subestimado
<b>I24</b>	Jefe de maniobra	-5 022 h	Presupuesto subestimado
<b>I25</b>	Almacenero / Logística / Suministro	-4 016 h	Presupuesto subestimado
<b>I27</b>	Vallas	-1 274 h	Presupuesto subestimado
<b>I30</b>	Montaje y desmontaje grúa torre	-528 h	Presupuesto subestimado
<b>I31</b>	Operador Grúa torre G1	-1 252 h	Presupuesto subestimado
<b>I32</b>	Operador de grúa torre G2	-2 144 h	Presupuesto subestimado
<b>I35</b>	Asistencia excavación	-1 280 h	Presupuesto subestimado
<b>I40</b>	Montaje y desmontaje de ventilación	-214 h	Presupuesto subestimado

El análisis de las variaciones permitió identificar 4 causas principales que explican las pérdidas, estas causas serán descritas a continuación:

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

### **3.3.1 Errores en la estimación del presupuesto**

Las pérdidas debidas a errores de estimación del presupuesto se producen cuando se subestima la complejidad de una tarea determinada. Es decir, las horas presupuestadas para la realización de la tarea no son suficientes, lo que genera un consumo de horas superior al presupuesto. Ante este tipo de variación, se deben analizar los rendimientos reales de la tarea en cuestión e intentar mejorarlos. De este modo, se optimizará el consumo de las horas restantes en el presupuesto.

### **3.3.2 Trabajo realizado por los subcontratistas**

Cuando una tarea determinada es subcontratada, el presupuesto de mano de obra previsto para esta última es igual a cero, puesto que dicha tarea no es realizada por el personal de SPIE o VINCI. Se generan pérdidas ligadas a este tipo de actividades cuando el personal dedica tiempo a realizar tareas que corresponden al subcontratista. Esta situación puede presentarse cuando este último no cumple con los rendimientos esperados o no cuenta con personal suficiente, en dicho caso los equipos del grupo de empresas deben venir en refuerzo, para que las falencias del subcontratista no provoquen retrasos en la obra.

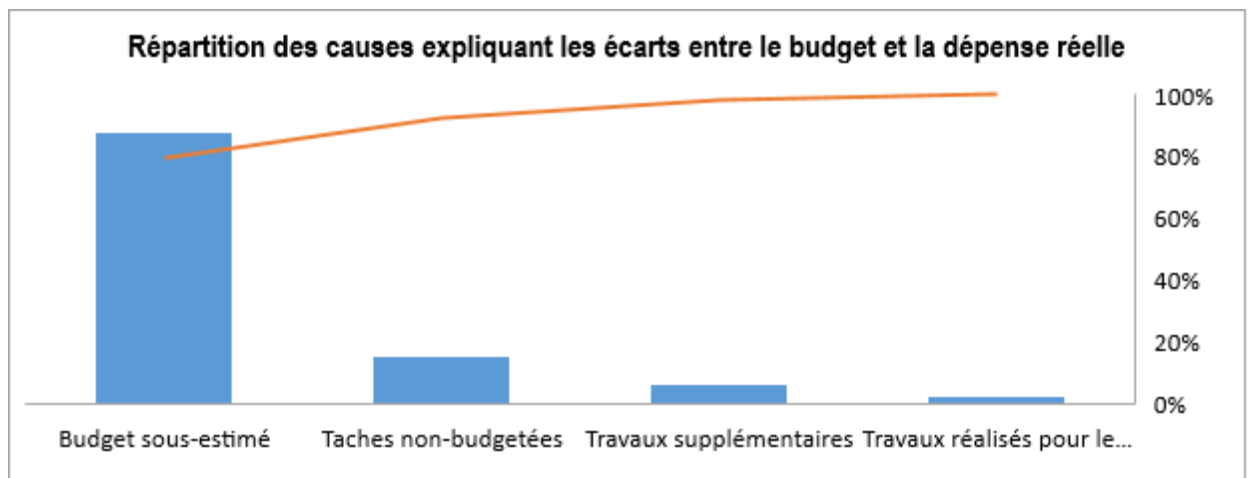
### **3.3.3 Trabajos adicionales**

Se trata de trabajos que no están contemplados en contrato inicial de la obra y por lo tanto no han sido presupuestados. Este tipo de pérdida puede ser producto de imprevisto en la obra.

### **3.3.4 Trabajos no presupuestados**

Se refiere a las tareas que por olvido u omisión no fueron consideradas en el desglose inicial (EDT) que sirve de base para la construcción del presupuesto. Por lo tanto, el presupuesto dedicado a realizar estas tareas es igual a cero y todas las horas consumidas para la realización de dichas tareas generarán automáticamente una pérdida.

Un análisis de cada una de las tareas que muestran diferencias significativas, permite identificar la proporción de horas que corresponde a cada una de las causas. El diagrama de Pareto a continuación presenta los resultados obtenidos:



**Figura 10. Pareto de causas de las variaciones**

Budget sous-estimé : Errores en la estimación del presupuesto

Taches non budgétées: trabajos no presupuestados

Travaux supplémentaires : trabajos adicionales

Travaux réalisés pour le compte de sous-traitants : 3.3.2 Trabajo realizado por los subcontratistas

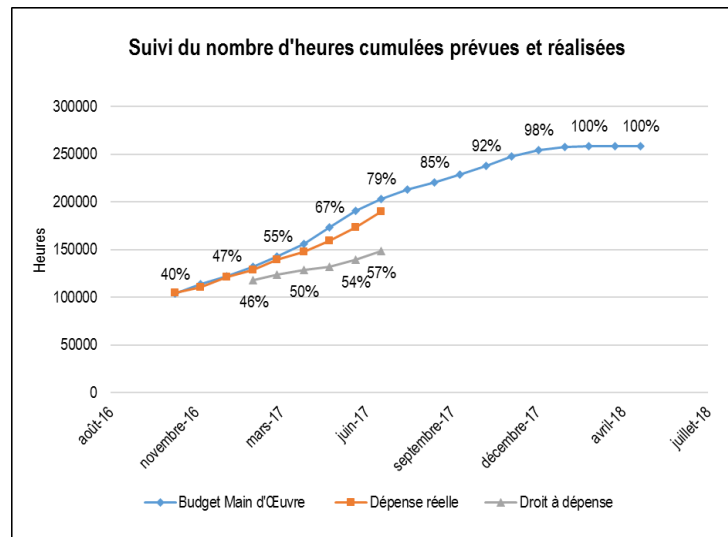
Como puede observarse en el gráfico, los errores en la estimación del presupuesto son la causa principal de las diferencias entre las horas consumidas y el presupuesto inicial.

### 3.3.5 Evolución de las variaciones

A partir del valor ganado, el presupuesto inicial y las horas trabajadas, es posible identificar si la obra presenta retraso o si ésta se desarrolla según el cronograma. También se puede analizar si la obra presenta un sobre costo con respecto al presupuesto inicial.

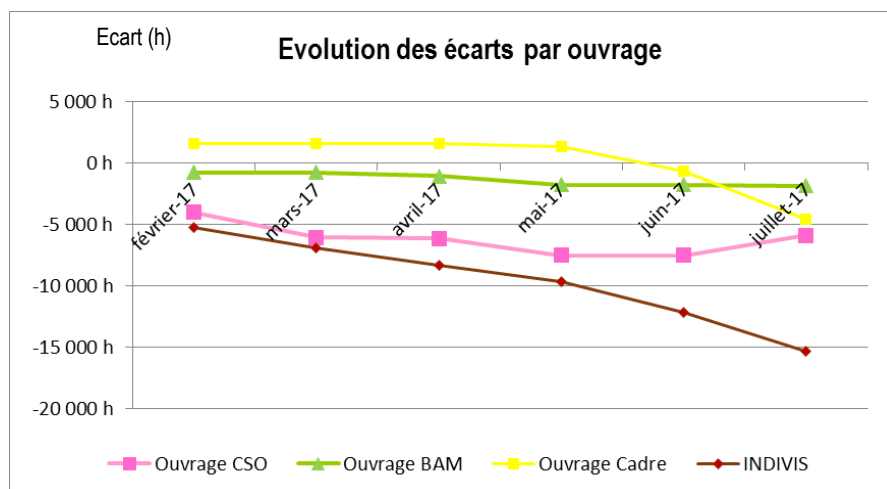
La siguiente figura muestra la evolución del valor ganado y del consumo real de horas, en el período de análisis de febrero a julio de 2017. Se puede observar que a finales de julio de 2017 el porcentaje de avance promedio de la obra es de 57%, en comparación con el 79% previsto en el presupuesto, esto quiere decir que el valor ganado (en gris) es inferior al valor planificado (en azul) lo que implica una variación en cronograma negativa. Es decir, un retardo en el cronograma.

Comparando el valor ganado (en azul) con las horas consumidas (en naranja), puede observarse que se consumieron más horas de lo presupuestado, con una diferencia acumulada de -41167 horas.



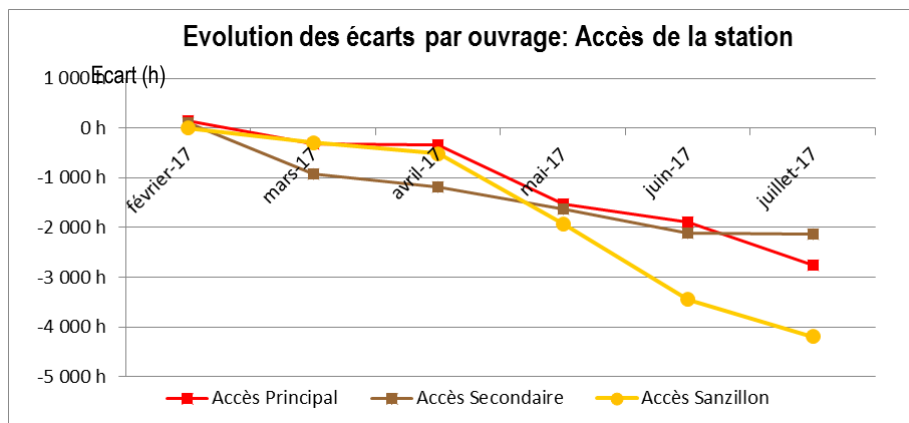
**Figura 11. Evolución del valor ganado y las horas trabajadas. Comparación con el presupuesto B2-bis**

Al comparar las variaciones de cada mes con las variaciones del mes anterior, se puede saber si las acciones correctivas implementadas han permitido disminuir las variaciones. Al analizar en detalle la evolución en obras, se observa que las acciones permitieron estabilizar las pérdidas en CSO, BAM y el acceso secundario.



**Figura 12. Evolución de las variaciones para las estructuras CSO, BAM, Túnel RERC**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



**Figura 13. Evolución de las variaciones para los Accesos Principal, Secundario y Sanzillon**

### 3.4 APLICACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL PRESUPUESTARIO A LA REALIZACIÓN DE MUROS A UNA CARA DE LOS ACCESOS DE LA ESTACION

En vista de una evolución negativa de las variaciones entre valor ganado y las horas trabajadas del acceso principal, se realizó un estudio particular en esta parte de la obra para intentar reducir las pérdidas, que aumentaban mes tras mes en lugar de estabilizarse. Se escogió una de las tareas esenciales de la construcción de los accesos: la realización de muros periféricos.

#### 3.4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVOS DE MUROS PERIFÉRICOS

##### ○ Concepto de muros a una cara

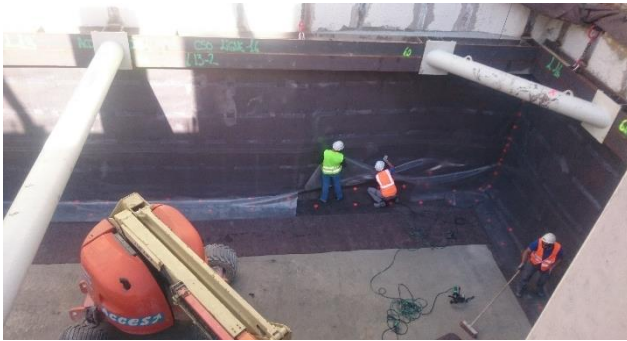
En el caso de los accesos principal y secundario de la estación Clichy Saint-Ouen, una gran mayoría de los muros que deben construirse, son muros a una cara. Se conoce con este nombre a aquellos muros que son realizados contra el terreno o en taludes. Concretamente en el caso de los accesos a la estación CSO, los muros son construidos contra la pantalla de impermeabilización construida en fase provisoria.

Las pantallas de impermeabilización son muros de contención colados de lechada cemento-bentonita y reforzados con perfiles metálicos verticales. La finalidad de estos elementos es garantizar la impermeabilización y evitar caudales de infiltración que pongan en riesgo la estabilidad de futura estructura.

En fase definitiva, se deben construir muros contra dicha pantalla, tras haber realizado el sistema de impermeabilización definitiva de la estructura, que está constituido por un sistema de impermeabilización con Geo-membrada de PVC. Este sistema está constituido

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

por un geotextil, una membrana de impermeabilización en PVC y una capa superior protectora (SPIE BATIGNOLLES TPCI, 2017).



**Figura 14. Sistema de impermeabilización con geo membrana PVC**



**Figura 15. Construcción de muro a una cara contra pantalla de impermeabilización**

#### ○ **Proceso constructivo de muros periféricos**

Para la realización de este tipo de muros se requiere un encofrado robusto formado por un bastidor metálico acoplado a unas cerchas metálicas que garantizan la transferencia de las cargas del encofrado a la losa de cimentación. Para ello se requiere la incorporación de anclajes dentro de la estructura de dicha losa, lo que permite la estabilización del encofrado, mediante un sistema de anclado en la parte inferior del mismo. Esta es la única solución posible en el caso de los muros de la estación Clichy Saint-Ouen, pues la presencia sistema de impermeabilización PVC imposibilita la utilización de anclajes transversales en la parte media y superior del encofrado.

El proceso de construcción de los muros a una cara es el siguiente:

1. Realización de la impermeabilización sobre las paredes
2. Realización de la losa de cimentación y colocación de anclajes de transferencia de carga
3. Colocación de aceros de refuerzo
4. Encofrado
5. Preparación de la junta de hormigonado prevista en los planos. Esta última es realizada con placas de rejilla stremaform
6. Vaciado
7. Desencofrado

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

El encofrado utilizado para la realización de muros tiene una altura de 3 m. Los muros periféricos del acceso principal miden entre 4 y 8 metros. De este modo, los muros deben ser realizados en varios niveles, mediante el montaje de cimbras sobre las cuales se apoya el encofrado del segundo y tercer nivel.



**Figura 16. Cimbras para la construcción de segundo nivel de muros**

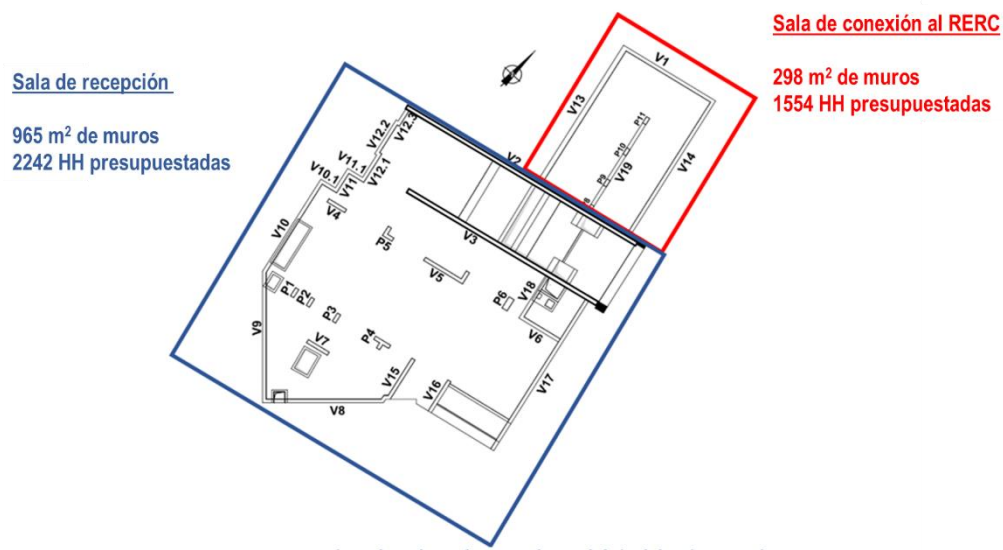
### **3.4.2 ANÁLISIS DE DESVIACIONES Y RENDIMIENTOS DE EJECUCIÓN**

El presupuesto de mano de obra incluye dos códigos dentro de los cuales se imputan todos los gastos correspondientes a la realización de los muros del acceso principal. Los códigos son los siguientes:

- Código C25: Sala de conexión al RER C. Esta sala cuenta con un total de 298 m<sup>2</sup> de muros que deben ser realizados con un presupuesto total de 1554 horas. Esto se traduce en un rendimiento estimado de 5,21 h/m<sup>2</sup>.
- Código C23: Sala de recepción. Esta sala cuenta con un total de 965 m<sup>2</sup> de muros. El presupuesto destinado para la construcción de éstos últimos es de 2242 horas. Por lo tanto, se requiere mantener un rendimiento de aproximadamente 2,53 h/m<sup>2</sup> para respetar lo estimado en el presupuesto.

La Figura 17 muestra los dos sectores del acceso principal incluidos en dichos códigos:





**Figura 17. Presupuesto de horas-hombre para la realización de muros del acceso principal a la estación Clichy Saint-Ouen**

Los trabajos de realización de los muros de la sala de conexión al RER C comenzaron en abril de 2017. A finales de julio de 2017, el porcentaje de avance de la tarea era del 57% con un consumo total de 1009 horas.

Si se calcula el rendimiento de ejecución de los muros de la sala de conexión RERC, se obtiene un valor de 5.62 h/m<sup>2</sup>. Dicho rendimiento es similar al rendimiento requerido para respetar el presupuesto, por lo tanto, puede esperarse que las pérdidas en esta parte del acceso principal no sean muy significativas.

Si bien los trabajos de los muros de la sala de recepción no habían comenzado en el momento del análisis, resulta evidente que el rendimiento con el que se calculó el presupuesto del código C23 será difícilmente respetado y por lo tanto es necesario tomar medidas para mejorar el rendimiento de ejecución actual, puesto que, si se continúa con el rendimiento actual se generarán pérdidas.

La siguiente tabla presenta las posibles pérdidas en términos de horas-hombre que podrían producirse si no se toman acciones de mejoramiento:



**Tabla 7. Pronóstico a la terminación de los muros de la sala de recepción con base en el rendimiento de los muros de la sala de conexión RER C**

	Presupuesto (h)	Rendimiento (h/m <sup>2</sup> )	Horas totales estimadas utilizando el rendimiento de la sala de conexión	Variación a la terminación
Sala de recepción C23	2242	5,64	5426	-3184

De este modo, si se mantiene el rendimiento de ejecución actual, esto implicaría que para terminar los muros de la sala de recepción se debe consumir un total de 5426 horas. Esto implica un sobre costo de 3184 horas, es decir del orden de 140%.

Para identificar con mayor precisión cuáles son los trabajos donde se consume una mayor proporción de horas, se realizó una división los trabajos de realización de muros en subtarefas que pudieran analizarse más fácilmente. Se realizó un promedio de los rendimientos obtenidos en los últimos 6 meses para cada subtarea y se comparó con el presupuesto.

La siguiente tabla compara los rendimientos promedio reales de la obra con los rendimientos utilizados para la construcción del presupuesto:

**Tabla 8. Repartición de las horas trabajadas para la construcción de muros**

Sub-tarea	%	Presupuesto (h)	Rendimiento presupuesto (h/m <sup>2</sup> )	Horas-hombre totales*	Rendimiento real (h/m <sup>2</sup> )	Variación
Montaje	10%	244,2	0,25	544,26	0,56	-300,06
Ajuste del encofrado	30%	743,6	0,77	1657,28	1,72	-913,69
Preparación de la junta de hormigonado	20%	488,4	0,51	1088,52	1,13	-600,12
Montaje de cimbras	16%	390,7	0,40	870,82	0,90	-480,10
Hormigonado	6%	146,5	0,15	326,56	0,34	-180,04
Desenfofrado y desmontaje de cimbras	6%	146,5	0,15	326,56	0,34	-180,04
Limpieza	1%	30,4	0,03	67,70	0,07	-37,32
Desmontaje o del encofrado	10%	244,2	0,25	544,26	0,56	-300,06
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>2434,5</b>	<b>2,52</b>	<b>5426</b>	<b>5,62</b>	<b>-2991,42</b>

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

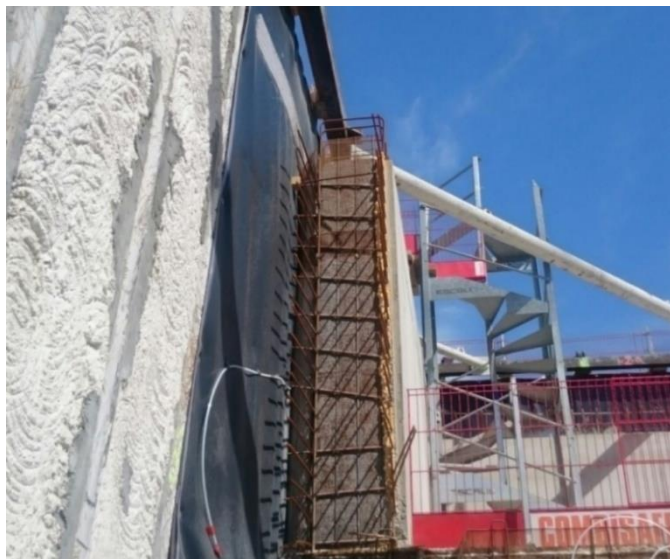
A partir de la tabla puede concluirse que el ajuste del encofrado, la preparación de la junta de hormigonado y el montaje de las cimbras para la realización del segundo nivel de los muros, representan cerca del 66% de las horas totales consumidas. Dado lo anterior y con el objetivo de obtener impactos significativos que contribuyan a mejorar los rendimientos, las proposiciones de mejoramiento se centraran sobre dichas actividades.

### **3.4.3 SOLUCIONES PROPUESTAS**

- **Solución 1: Optimización de la realización de juntas de hormigonado**

Cuando hay grandes volúmenes de hormigonado que no pueden ser realizados en una única jornada de trabajo, o a causa de las limitaciones en el tamaño de los encofrados, es necesario realizar el vaciado de los muros en varias fases. La preparación de las juntas de hormigonado es en ocasiones una tarea complicada, puesto que se debe garantizar la continuidad de las armaduras, asegurarse de que el hormigón no pase a través y de que la junta sea estable. La tarea es aún más compleja si se suman factores como la irregularidad del terreno detrás del muro o la presencia de la membrana de impermeabilización.

En el caso de los muros de la sala de recepción, las juntas de hormigonado fueron realizadas con láminas de rejilla stremaform, las cuales pueden ser soldadas al refuerzo de los muros y permiten crear una superficie rugosa. Esto con el objetivo de mejorar la futura unión entre el hormigón seco y el hormigón fresco, en la futura fase de vaciado.

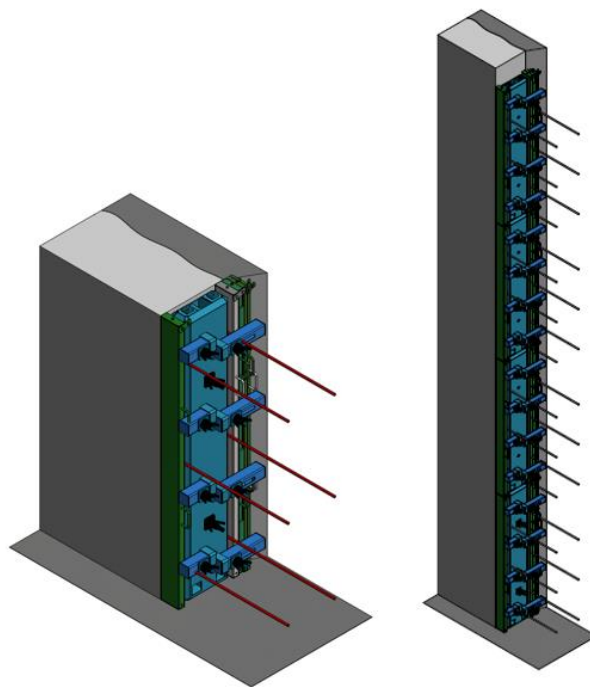


**Figura 18. Juntas de hormigonado con rejilla stremaform**

La solución propuesta para mejorar el tiempo de realización de la junta, es un encofrado constituido por un encofrado metálico y un sistema de cuñas. El encofrado se coloca entre los aceros de refuerzo y las cuñas al exterior de éstos para cerrar la junta y poder vaciar sin que haya fugas de hormigón. El conjunto es estabilizado con ayuda de perfiles metálicos corredizos que ajustan al espesor del muro. La estabilidad del conjunto es garantizada mediante anclajes en el muro anteriormente realizado.

Se trata de un sistema modular, puesto que los módulos pueden apilarse los unos sobre los otros y ajustarse a la altura de los diferentes muros que deben ser construidos en los accesos.

El prototipo de esta solución es mostrado a continuación:



**Figura 1. Herramienta para la realización de juntas de hormigonado en varios niveles**

- Análisis de los rendimientos tras la implementación del sistema de encofrado de juntas

Al ser colocado e instalado sin necesidad de soldadura, el encofrado de juntas permitió la reducción del tiempo de preparación de la junta de hormigonado en aproximadamente 2 horas por junta, según los promedios de ejecución calculados con el tablero de seguimiento a finales de julio.

En el acceso principal, se deben realizar 17 juntas de hormigonado en tres niveles. Una ganancia de 2 horas por cada junta de hormigonado con un equipo de 2 trabajadores,

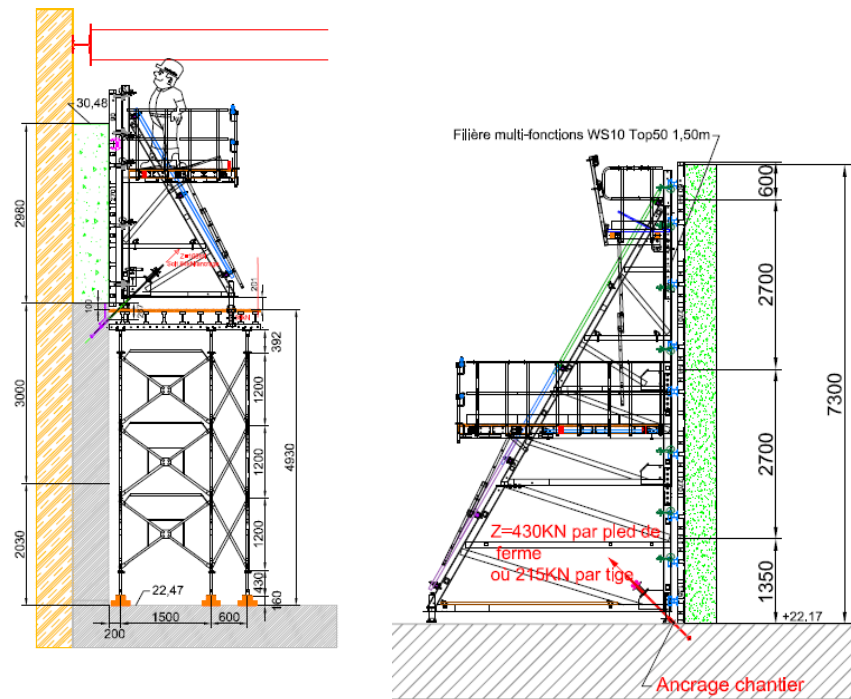
La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

representa una ganancia total de 204 horas. Esto representa una reducción del 20% del rendimiento de ejecución (de 1,13 a 0,9 h/ m<sup>2</sup>).

### ○ Solución 2: Muros de gran altura

Los muros del acceso principal y secundario tienen una altura de 8 m. Para la construcción de los muros, se utilizan 3 juegos de encofrado de 2,75 m de ancho x 3 m de altura. Una forma de optimizar el encofrado de los muros es la utilización de encofrados de gran altura.

Utilizando encofrados simples de 3 m, un muro de altura 8 m, debe ser realizado en tres niveles, esto implica un gran número de horas consumidas durante encofrado y montaje de cimbras de los diferentes niveles. Una solución para reducir el consumo de horas es la utilización de encofrados de gran altura. Con este sistema los muros de 8 m pueden realizarse de una sola vez, como se ilustra en la figura:



**Figura 19. Configuración constructiva de muros en varios niveles y muros de gran altura**

- Comparación de los rendimientos de ejecución de muros en varios niveles vs muros realizados con encofrados de gran altura.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

La tabla a continuación compara los rendimientos de ejecución de la realización de muros con encofrados simples y encofrados de gran altura, obtenidos gracias al tablero de seguimiento. Con base en la tabla puede concluirse que los muros de gran altura presentan un tiempo de ejecución 33% más bajo que los muros realizados en varios niveles con encofrados simples (3.74 h/m<sup>2</sup> contra 5.6 h/m<sup>2</sup>)

**Tabla 9. Comparación de los rendimientos de ejecución encofrados simples y encofrados de gran altura**

Subtarea	Encofrado simple		Encofrado de gran altura	
	Descripción	Horas	Descripción	Horas
Anclajes	26 anclajes en la losa de cimentación + 24 anclaje para los primeros 3 m + 24 anclajes para los 3 m siguientes = 74 anclajes	19,62	26 anclajes en la losa de cimentación	6,89
Montaje del encofrado	Encofrado pre montado	24,96	Ensamblado del encofrado necesario	37,44
Preparación de la cara encofrante	Superficie 2,75 x 3,60 m x 3 u	37,44	Superficie 2,75 x 8,0 m x 1 u	85,48
Ajuste y cierre del encofrado	Ajuste y cierre del encofrado necesario para la realización de cada nivel. Actividad realizada 3 veces en total	112,32	Ajuste y cierre del encofrado realizado una única vez	37,44
Hormigonado	Vaciado en 3 fases. Rapidez de hormigonado 1m/h	42,12	Vaciado en una sola fase. Rapidez de hormigonado 1m/h	37,44
Desencofrado	Tres fases de desencofrado necesarias	14,04	Una única fase de desencofrado	6,24
Montaje de las cimbras	Montaje de cimbras para el segundo y tercer nivel	99,84	No se requiere montaje de cimbras	0
Desmontaje del encofrado	Desmontaje de ciertos componentes	24,96	Desmontaje necesario	37,44
TOTAL	375,3		248,37	
Rendimiento h/m <sup>2</sup>	5,6		3,74	

Mediante la aplicación de esta medida correctiva para mejorar el rendimiento, pueden reducirse las pérdidas de horas de los muros de la sala de recepción. Si se calcula el

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

pronóstico a la terminación aplicando estos nuevos rendimientos, se obtiene una variación a la terminación de -1367 horas en comparación con la pérdida de -3184 horas si se continuara con el rendimiento actual. Esto significa una reducción de la pérdida del orden de 60%.

**Tabla 10. Pronóstico a la terminación de los muros de la sala de recepción con base en el rendimiento optimizado con encofrados de gran altura.**

	Presupuesto (h)	Rendimiento (h/m <sup>2</sup> ) – optimizado mediante la utilización de encofrados de gran altura	Horas totales estimadas utilizando el rendimiento de la sala de conexión	Variación
Sala de recepción C23	2242	3,74	3609	-1367

Así, el análisis presupuestario contribuye a un seguimiento de los trabajos en curso, para la preparación y optimización de los trabajos que están por venir. La herramienta se constituye como una herramienta de ayuda a la toma de decisiones para la selección de procesos y secuencias constructivas.

## 4. DISCUSION DE RESULTADOS

El control presupuestario de la mano de obra permite no sólo conocer las variaciones y analizarlas, sino también encontrar soluciones en términos de métodos constructivos y secuencias de ejecución.

Gracias a las herramientas desarrolladas en la estación Clichy Saint-Ouen, fue posible una sistematización del sistema de control presupuestario.

Al utilizar un sistema de codificación de los informes diarios se facilita la gestión del presupuesto para cada tarea. Además, el cálculo sistemático de los avances de obra permite evitar los cálculos tentativos y reducir los riesgos ligados a una sobrestimación del valor ganado.

La utilización de herramientas como el tablero de seguimiento permite un análisis de la evolución de la obra mes tras mes, éste se constituye como un marco de referencia para la toma de decisiones y la mejora del desempeño de la obra.

La implementación de medidas correctivas como la optimización de las juntas de hormigonado y el encofrado de muros de gran altura permite la mejora de los rendimientos actuales y la disminución de las pérdidas.

Los errores en la estimación del presupuesto se constituyen como la causa principal de las variaciones. El presupuesto B2-bis subestimó la complejidad de una buena parte de los trabajos que constituyen la obra. Los pronósticos de mano de obra realizados indican una variación a la terminación del proyecto del orden de -90 000 horas, lo que representa casi un 35% de sobre costo del proyecto. En vista de los resultados obtenidos tras la aplicación del control presupuestario, las empresas SPIE y VINCI se han dado cuenta de las falencias del presupuesto actual y reconocen la importancia de la definición de un nuevo presupuesto B3 que se ajuste a la realidad de la obra.

Los rendimientos calculados con ayuda del tablero de seguimiento permitirán la construcción de dicho presupuesto sobre bases sólidas.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La inadecuada gestión de los recursos y la falta de seguimiento de los rendimientos de ejecución, pueden tener consecuencias negativas en términos de plazo y costo. La aplicación de un sistema de monitoreo de las horas consumidas permite mejorar la gestión dentro de la obra y trabajar desde una óptica de mejora continua, en una búsqueda permanente de soluciones.

Las herramientas desarrolladas en la estación Clichy Saint-Ouen, permiten obtener información directa de la obra y realizar análisis profundos y pertinentes. El análisis de las desviaciones en la ejecución de los diferentes trabajos que componen la obra, hizo posible la implementación de acciones que permitieran limitar las pérdidas y respetar los plazos.

El sistema de seguimiento de las horas trabajadas, permitió mejorar el rendimiento de cada uno de los 136 trabajos que componen la estación. Concretamente en la realización de muros, los sistemas de control y las soluciones propuestas gracias a ellos, permitieron una reducción del tiempo de ejecución del orden de 33%. Se espera que dichas mejoras favorezcan, el cumplimiento del plazo de la obra, fijado al 8 de febrero de 2018 para el acceso de la estación. De este modo, el sistema de seguimiento de la fuerza laboral se ha mostrado eficaz para mejorar el desempeño de la obra.

Dada su naturaleza iterativa, éste es un proceso que toma tiempo en establecerse, ya que cada persona en la obra debe adoptar su rol. De hecho, para que un sistema de control presupuestario sea efectivo, es necesario involucrar a todas las partes interesadas. Por lo tanto, se les recomienda a las empresas SPIE BATIGNOLLES y VINCI CONSTRUCTION, favorecer la participación de sus empleados y sensibilizarlos a la importancia de este proceso para el buen desarrollo del proyecto. También se recomienda a estas empresas, monitorear las acciones que se llevaron a cabo, para asegurar su efectividad y garantizar la reducción de las pérdidas. Esto con el objetivo de favorecer el ciclo de mejora continua, esencial para el correcto funcionamiento de la obra.

La construcción la estación de Clichy Saint-Ouen todavía enfrenta muchos desafíos y dificultades técnicas. El uso del control presupuestario en el establecimiento de un nuevo presupuesto de mano de obra, permitirá trabajar sobre bases sólidas. Se recomienda continuar con la aplicación de esta metodología de seguimiento de la mano de obra. Se sugiere igualmente, apoyarse sobre las herramientas de control presupuestario y los rendimientos calculados, para construir el nuevo presupuesto actualizado de la obra, que debe ser presentado en el mes de octubre de 2017. Esto permitirá una mayor concordancia con la realidad actual de la obra y los métodos constructivos elegidos.

El sistema de gestión se configura gradualmente y si bien, aún se ha asimilado del todo dentro de la obra, ya comienza a mostrar resultados satisfactorios en la identificación de áreas de mejora.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



## REFERENCIAS

- AMBRIZ AVELAR, R. (2008). *La gestión del valor ganado y su aplicación*. Recuperado el septiembre de 2017, de Project Management Institut: <https://www.pmi.org/learning/library/earned-value-management-best-practices-7045>
- BONNAL, P. (2006). *Earned Value Management*. HEG Genève , Ginebra. Obtenido de [http://campus.hesge.ch/bonnalp/pB\\_docts/PilotageProjetEVM\\_laius.pdf](http://campus.hesge.ch/bonnalp/pB_docts/PilotageProjetEVM_laius.pdf)
- DOKA. (Diciembre de 2014). Instructions de montage et d'utilisation fermes d'appui DOKA. 88. Amstetten, Austria. Recuperado el junio de 2017, de [https://direct.doka.com/\\_ext/downloads/downloadcenter/999739003\\_2014\\_12\\_online.pdf](https://direct.doka.com/_ext/downloads/downloadcenter/999739003_2014_12_online.pdf)
- DOKA. (2014, Noviembre). Instructions de montage et utilisation: Etalement Staxo 40. 88. Amstetten, Austria. Consulté le junio 2017, sur [https://direct.doka.com/\\_ext/downloads/downloadcenter/999805003\\_2014\\_11\\_online.pdf](https://direct.doka.com/_ext/downloads/downloadcenter/999805003_2014_11_online.pdf)
- ITM Platform. (s.d.). Earned Value Management. Madrid, Espana. Consultado en julio 2017, sur <https://www.itmplatform.com/lib/uploads/EN-MAN-04-Earned-Value-Management.pdf>
- OURAHOU, M. (2003). *La gestion de chantier*. Office Régional de Mise en Valeur Agricole (ORMVA) de Tafilalet . Consulté le mayo 13, 2017
- PROJECT MANAGEMENT INSTITUT . (2006). *Practice standard for Work Breakdown Structures* (2 ed.). Pennsylvania, USA: PMI Publications.
- PROJECT MANAGEMENT INSTITUT . (s.f.). *Guide du corpus des connaissances en management de projet (Guide PMBOK)* (4 ed.). Pennsylvania, Estados Unidos: PMI Publications.
- RATP. (2014, Novembre 27). MARCHE MOP: DESATURATION DE LA LIGNE 13 PAR LE PROLONGEMENT DE LA LIGNE 14 A MAIRIE DE SAINT OUEN- LOT T03 GENIE CIVIL DE LA STATION CLICHY SAINT OUEN. 29.
- SILVELA, M. (9 de diciembre de 2016). EVM, Gestion del valor ganado para la empresa constructora. Madrid, Espana. Recuperado el 14 de junio de 2017, de <https://www.rib-software.es/pdf/Notas-tecnicas/EVM-Gesti%C3%B3n-del-valor-ganado-para-la-empresa-constructora.pdf>
- SOCIETE DU GRAND PARIS. (14 de septiembre de 2017). *Le Gran Paris Express en résumé*. Recuperado el Junio de 2017

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

SOCIETE DU GRAND PARIS. (2017). *Les lignes du Grand Paris Express: Ligne 14*.  
Obtenido de Site web Société du Grand Paris:  
<https://www.societedugrandparis.fr/ligne/ligne-14>

SPIE BATIGNOLLES TPCI. (2017, Juin 19). Carnet de phasage de l'accès principal .

SPIE BATIGNOLLES TPCI. (2017, Juillet 03). Carnet de phasage de l'accès secondaire .  
Saint-Ouen.

SPIE BATIGNOLLES TPCI. (2017, juillet 04). Procédure d'exécution - GC Radier accès  
principal. Saint-Ouen.

SPIE BATIGNOLLES TPCI. (2017, Mai 19). Procédure d'exécution boutons et liernes accès  
principal . Saint-Ouen.

SPIE BATIGNOLLES TPCI. (2017, juillet 24). Procédure d'exécution- Réalisation des voiles  
de l'accès principal. Saint-Ouen.

SYSTRA. (2014, Novembre 20). CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES  
- LOT T03.

T03